MA2011-6

船 舶 事 故 調 査 報 告 書

平成２３年6月２４日

運 輸 安 全 委 員 会

（東京事案）

1　貨物船RICKMERS JAKARTAはしけ１８新栄丸作業員死傷

2　コンテナ船CARINA STAR護衛艦くらま衝突

3　コンテナ船SKY LOVE貨物船HAEJIN衝突

（地方事務所事案）

函館事務所

4　漁船第十八甚栄丸衝突（消波ブロック）

5　漁船第８龍宝丸乗組員死亡

6　漁船第十八金龍丸転覆

7　漁船第２政宝丸転覆

8　カヌー（船名なし）操船者死亡

9　カヌー（船名なし）操船者死亡

10　遊漁船ベルーガ漁船第八明星丸衝突

11　漁船第五十八孝与丸漁船第五十一八紘丸衝突

仙台事務所

12　漁船第八十一天王丸乗組員負傷

13　水上オートバイしぶ造２号乗組員死亡

横浜事務所

14　水上オートバイ永池号同乗者負傷

15　モーターボートフジ丸乗揚

16　液体化学薬品ばら積船旺祥丸乗組員死亡

17　貨物船LANA乗揚

18　押船海陽丸バージFTB１漁船第十二功盛丸衝突

19　自動車運搬船きぬうら丸コンテナ船OSG BEAUTEC衝突

20　モーターボートBEAUTIFUL AROMAモーターボートみさご丸衝突

神戸事務所

21　貨物船第二十五宝祥丸石材･砂利採取運搬船第五十二明力丸衝突

22　モーターボートシーザー９９９漁船後實丸衝突

23　モーターボートｔｏｓｈｉｙｕｋｉ乗揚

24　水上オートバイ神田号同乗者負傷

25　遊漁船啓福丸遊漁船富丸衝突

26　漁船隆昌丸乗組員負傷

27　ロールオン・ロールオフ貨物船つるが衝突（岸壁）

28　押船第五築港丸起重機台船第八築港号漁船喜漁丸衝突

広島事務所

29　液体化学薬品ばら積船第八東邦丸引船第十五あき丸台船ＳＡ－５衝突
30　貨物船第二鈴鹿丸モーターボートＫⅡ衝突
31　モーターボートWISTERIA乗組員死亡
32　引船いよ丸貨物船第三敬神丸衝突
33　貨物船太平丸乗揚
34　ケミカルタンカー第貳拾五富士丸漁船勝丸衝突
35　漁船信勝丸漁船加茂川丸衝突
36　貨物船松竜丸乗揚
37　貨物船第八白鳥丸乗揚
38　巡視艇はやぎり旅客船ニューおおしま５衝突
39　漁船第一大成丸乗組員死亡
40　漁船第５朝吉丸転覆

門司事務所

41　遊漁船誠幸丸釣り客死亡
42　貨物船HUAXIANG漁船第２千福丸衝突
43　漁船第六十六明翔丸漁船志賀丸衝突
44　貨物船PUTO ISLAND漁船海栄丸衝突
45　引船加納丸台船川口２号起重機船鵬号乗組員負傷
46　遊漁船釣吉丸衝突（護岸）
47　漁船赤城丸乗組員死亡

長崎事務所

48　モーターボートふさの乗揚
49　漁船太洋丸乗揚

本報告書の調査は、本件船舶事故に関し、運輸安全委員会設置法に基づき、運輸安全委員会により、船舶事故及び事故に伴い発生した被害の原因を究明し、事故の防止及び被害の軽減に寄与することを目的として行われたものであり、事故の責任を問うために行われたものではない。

運　輸　安　全　委　員　会
委　員　長　　後　藤　昇　弘

≪参　考≫

本報告書本文中に用いる分析の結果を表す用語の取扱いについて

本報告書の本文中「３　分　析」に用いる分析の結果を表す用語は、次のとおりとする。

① 断定できる場合
・・・「認められる」

② 断定できないが、ほぼ間違いない場合
・・・「推定される」

③ 可能性が高い場合
・・・「考えられる」

④ 可能性がある場合
・・・「可能性が考えられる」
・・・「可能性があると考えられる」

１　貨物船RICKMERS JAKARTAはしけ１８新栄丸作業員死傷

船舶事故調査報告書

船種船名　貨物船　RICKMERS JAKARTA
ＩＭＯ番号　９２９２０１０
総トン数　２３，１１９トン

船種船名　はしけ　１８新栄丸
表示番号　Ｙ　０６２８
積載重量　５４０ｔ

事故種類　作業員死傷
発生日時　平成２０年9月１日　１０時０５分ごろ
発生場所　京浜港横浜第１区山下ふ頭３号岸壁
　神奈川県横浜市横浜ベイブリッジ橋梁灯（Ｐ１灯）から真方位
　２６６°１，４００ｍ付近
　（概位　北緯３５°２７．１′　東経１３９°３９．３′）

平成２３年６月２日
運輸安全委員会（海事部会）議決
委員長　後藤昇弘
委　員　横山鐵男（部会長）
委　員　山本哲也
委　員　石川敏行
委　員　根本美奈

１　船舶事故調査の経過

１．１　船舶事故の概要

貨物船RICKMERS JAKARTA（リックマース ジャカルタ）は、京浜港横浜第１区山下ふ頭３号岸壁に右舷着けで係留し、同船の左舷側に接舷しているはしけ１８新栄（しんえい）丸の船倉から３号デッキクレーンを使用して貨物を巻き上げ中、平成２０年9月１日１０時０５分ごろ、デッキクレーン

の巻上用ワイヤロープが破断して貨物が１８新栄丸の船倉内に落下した。

１８新栄丸上で作業を行っていた作業員のうち、５人が落水して１人が死亡し、救助された４人のうち３人が打撲傷を負った。

また、１８新栄丸は、落下した貨物により、船倉船底に破口が生じて沈没した。

１．２　船舶事故調査の概要

1.2.1　調査組織

運輸安全委員会は、平成２０年１０月１日、本事故の調査を横浜地方海難審判理事所から引き継ぎ、調査を担当する主管調査官（横浜事務所）ほか１人の地方事故調査官を指名した。

なお、後日、主管調査官として新たに船舶事故調査官ほか２人の船舶事故調査官を指名した。

1.2.2　調査の実施時期

平成２０年９月１日、２日、平成２１年４月１３日、１４日　現場調査

平成２０年９月５日、２４日、１２月１２日、平成２１年1月１４日、２７日、平成２２年１０月４日　口述聴取

平成２０年１２月９日、平成２１年６月３０日、８月１１日、１９日、２０日、９月２８日、３０日、１０月７日、８日、平成２２年９月７日　回答書受領

平成２１年1月８日、６月１８日　口述聴取及び回答書受領

平成２１年1月２２日　口述聴取、回答書受領及び現場調査

平成２１年３月４日　ドイツ連邦共和国の調査及び分析会社が、RICKMERS JAKARTA 船舶管理会社の依頼に基づき作成した「貨物落下事故に関する原因調査」報告書受領

1.2.3　経過報告

平成２１年１０月３０日、その時点までの事実調査結果に基づき、国土交通大臣に対して経過報告を行い、公表した。

1.2.4　解析の委託

本事故に関し、独立行政法人海上技術安全研究所に、平成２１年３月４日に受領した「貨物落下事故に関する原因調査」報告書の内容の妥当性について、評価を委託した。

1.2.5　原因関係者からの意見聴取

原因関係者から意見聴取を行った。

1.2.6　旗国及びクレーン製造会社への意見照会

旗国及びデッキクレーン製造会社に対し、意見照会を行った。

2　事実情報

２．１　事故の経過

2.1.1　RICKMERS JAKARTA の動静

RICKMERS JAKARTA（以下「Ａ船」という。）の動静は、船長（以下「船長Ａ」という。）の口述及び回答書によれば、次のとおりであった。

Ａ船は、平成２０年８月１３日、中華人民共和国上海（シャンハイ）の造船所において、船級協会[*1] である Germanischer Lloyd（以下「ＧＬ」という。）による４基のデッキクレーン（以下「クレーン」という。）の定期検査を行い、２号及び３号クレーンについては、ＧＬの規定による制限荷重[*2] の１．１倍である荷重３５２ｔの荷重試験が行われ、それぞれ合格した。

Ａ船は、８月２５日、大韓民国の馬山（マサン）港で３号クレーンを使用して約２２７ｔ、８月２９日、阪神港神戸区で２号及び３号クレーンを併用して約３２１ｔの貨物の積荷役が行われた。

Ａ船は、船長Ａほか２５人が乗り組み、阪神港神戸区を出港し、平成２０年８月３１日１３時４２分ごろ、京浜港横浜第１区山下ふ頭３号岸壁に右舷着けで係留して荷役の準備を行ったのち、２１時５４分ごろから重量物以外の貨物の積荷役を開始し、翌９月１日０４時３０分ごろ、休憩のため、積荷役を中断した。

2.1.2　１８新栄丸の動静

１８新栄丸（以下「Ｂ船」という。）の動静は、えい航要員（以下「運航責任者Ｂ」という。）の口述によれば、次のとおりであった。

---

*1　「船級協会」とは、船舶の構造及び設備に関する規則を定め、それに従って船舶を検査して船級を与え、船級証書を発行する非営利の法人をいう。

*2　「制限荷重」とは、クレーンを安全に使用することができる最大荷重をいい、Ｓ.Ｗ.Ｌ.（Safe Working Load）と略され、制限半径（制限荷重で使用することができる最大の旋回半径）と組み合わせて表される。

Ｂ船は、京浜港横浜第３区所在の電機メーカー（以下「本件電機メーカー」という。）の専用岸壁で貨物（以下「本件貨物」という。）を積載して同港横浜第１区の船溜（ふなだま）りでＡ船の入港を待ち、Ａ船が入港したのち、平成２０年９月１日０７時００分ごろ、運航責任者Ｂが１人で乗り組み、引き船にえい航されて同船溜りを出発し、０８時００分ごろ、Ａ船左舷側の２号クレーンと３号クレーンの中間付近に右舷着けで接舷した。

2.1.3　荷役作業請負状況に関する情報

Ａ船の山下ふ頭における荷役作業を請け負った荷役管理会社（以下「本件荷役管理会社」という。）の回答書によれば、Ａ船の日本における代理店が、山下ふ頭３号岸壁でのＡ船の荷役作業を本件荷役管理会社に発注し、本件荷役管理会社が、荷役専従会社Ｃ（以下「本件荷役会社Ｃ」という。）と荷役専従会社Ｄ（以下「本件荷役会社Ｄ」という。）に船積荷役作業を発注し、固縛専従会社Ｅ（以下「本件荷役会社Ｅ」という。）に本件貨物をＡ船に積載後の固縛作業を発注した。

2.1.4　本件貨物に関する情報

(1)　概要

本件荷役管理会社作成の積荷計画書及びＡ船の船舶管理会社（Rickmers Reederei GmbH & Cie. KG、以下「Ａ船管理会社」という。）が提出した本件電機メーカー作成の貨物詳細図によれば、本件貨物は、本件電機メーカーが製造した発電所用の蒸気タービン駆動発電機で、長さ約１１．４ｍ、幅約５．５ｍ、高さ約４．６ｍで、両側の前後に１個ずつ計４個の吊上用金具が取り付けられており、山下ふ頭３号岸壁においてＢ船からＡ船の３番ホールド[*3]左舷側に積載され、米国フロリダ州ウエストパームビーチで陸揚げが予定されていた。

(2)　重量

①　貨物詳細図によれば、重量は３１４ｔであった。

②　Ａ船の３号クレーンの操縦を行った甲板手（以下「甲板手Ａ」という。）の口述によれば、本件貨物をＢ船から吊り上げた際、操縦席前面左側の荷重計は約２９０ｔを表示していた。

③　本件荷役会社Ｃの作業担当者の口述によれば、本件貨物は、本件電機メーカーの専用岸壁でフローティングクレーン[*4]を使用してＢ船に積み込

[*3]　「ホールド」とは、貨物倉のことをいう。

[*4]　「フローティングクレーン」とは、海上に浮かぶ台船上にクレーンを搭載した移動式クレーンをいう。

まれたが、その際、計測された重量は約３００ｔであった。

2.1.5　事故当日の荷役状況と事故発生に至る経緯

事故当日の荷役状況と事故発生に至る経緯は、船長Ａ、運航責任者Ｂ、本件荷役管理会社の担当者及び荷役担当者並びに本件荷役会社Ｃの労務担当者及び作業担当者の口述によれば、次のとおりであった。

Ａ船は、平成２０年９月１日０８時３０分ごろから本件貨物の積荷役を開始し、ヘルメット及び安全靴を着用してＡ船に乗船した本件荷役会社Ｃの荷役作業員７人（以下それぞれ「荷役作業員Ｃ１」、「荷役作業員Ｃ２」、「荷役作業員Ｃ３」、「荷役作業員Ｃ４」、「荷役作業員Ｃ５」、「荷役作業員Ｃ６」及び「荷役作業員Ｃ７」という。）及びその他の作業員によって３号クレーンの３２０ｔ用フックブロック（以下「主フックブロック」という。）に４本の吊上用ワイヤロープ（以下「グロメット」（主フックブロックから貨物に掛けるワイヤロープ）という。）が掛けられたのち、ジブ[*5]が左舷側に振り出され、接舷しているＢ船に積載された本件貨物の吊上用金具４か所にグロメットが掛けられた。

Ａ船は、船長Ａが合図を送り、甲板手Ａが３号クレーンを操縦し、３２０ｔ巻上用ワイヤロープ（以下「主ワイヤ」という。）及び４本のグロメットのたるみを取り除いたのち、０９時４０分ごろから本件貨物の巻上げを開始した。１０時００分ごろ本件貨物はＢ船の船倉底から離れ、１０時０５分ごろ船倉底から約７～８ｍ巻き上げられたとき、３号クレーンの主ワイヤが破断して本件貨物がＢ船の船倉に落下した。

Ａ船上でグロメットを掛け終えてＢ船に移り、作業を行っていた本件荷役会社Ｃの荷役作業員７人及び運航責任者Ｂの合計８人のうち、３人は、Ｂ船の左舷船首部に接したはしけに乗り移ったものの、荷役作業員５人が落水し、そのうち４人は、付近の船舶やはしけに救助されたが、荷役作業員Ｃ１が行方不明となった。

同日の夕方、捜索を行っていたダイバーにより海底で荷役作業員Ｃ１が発見され、死亡が確認された。また、救助された４人のうち、３人が打撲傷を負った。

Ｂ船は、本件貨物により船倉船底に破口が生じて沈没した。

本事故の発生日時は、平成２０年９月１日１０時０５分ごろで、発生場所は、横浜ベイブリッジ橋梁灯（Ｐ１灯）から真方位２６６°１，４００ｍ付近であった。

（付図１　事故発生場所図、付図２　Ａ船一般配置図、付図３　Ａ船乗組員及びＡ船上作業員配置図、付図４　Ｂ船状況図、写真１　Ａ船全景、写真２　Ｂ船全景　参

---

*5　「ジブ」とは、クレーン本体から突き出した“腕”をいう。

照）

２．２　人の死亡、行方不明及び負傷に関する情報

死体検案書によれば、荷役作業員Ｃ１の直接の死因は脳挫滅によるものであるが、解剖の結果、頭蓋骨及び顔面骨の複雑開放骨折、左右肋骨の多発骨折、左右胸腔内の出血が認められた。また、診断書によれば、荷役作業員Ｃ２、Ｃ３及びＣ４の３人が、下腿及び胸部に全治約５日間の打撲傷を負った。

（付図４　Ｂ船状況図　参照）

２．３　船舶の損傷に関する情報

2.3.1　Ａ船

(1)　３号クレーンの主ワイヤが、ジブ先端の巻上ウインチ側の３２０ｔ巻上用シーブ[*6]（以下「主シーブ」という。）に支持された部分で破断した。

(2)　３号クレーンの操縦席から向かって右端の主シーブが、リムのワイヤロープガイド面（ワイヤロープが掛かるリムの接触面。以下「ワイヤガイド面」という。）の底部に沿って全周にわたり割損した。

(3)　３号クレーンの主フックブロック及びグロメットが水没した。なお、後日、それらが海底から回収された。

（付図５　３号クレーン機械室図、付図６　ワイヤ装備図、付図７　ジブ及びシーブ図、写真３　３号クレーンジブ先端のシーブ、写真４　３号クレーンジブ先端、写真５　本事故後の状況、写真６　主ワイヤ破断部　参照）

2.3.2　Ｂ船

船長Ａ、運航責任者Ｂ、本件荷役管理会社の荷役担当者並びに本件荷役会社Ｃの労務担当者及び作業担当者の口述によれば、Ｂ船は、船倉の船底中央部に破口が生じて沈没した。

（写真７　Ｂ船引揚状況　参照）

２．４　船舶以外の施設等の損傷に関する情報

水没した本件貨物は、平成２０年１０月７日、海中から引き揚げられたのち解体され、再使用可能な一部の部品を使用して貨物を製造し、平成２１年６月５日船積みされ、当初の目的地に出荷された。

（写真８　本件貨物　参照）

---

*6　「シーブ」とは、ワイヤロープを掛ける滑車をいう。

２．５　乗組員に関する情報

(1)　性別、年齢、海技免状等

①　船長Ａ　男性　５２歳

国籍　ポーランド共和国

マーシャル諸島共和国発給 MASTER MARINE CERTIFICATE ON SHIPS OF 3000 GROSS TONNAGE AND MORE

免　許　年　月　日　２００６年7月２４日

免状有効期間満了日　２０１１年3月２５日

②　甲板手Ａ（クレーン操縦士）　男性　２７歳

国籍　フィリピン共和国

フィリピン共和国発行　クレーンオペレータコース修了証書

修了証書交付日　２００７年3月２８日

（２０１１年3月２７日まで有効）

(2)　乗組員の主な履歴

①　船長Ａ

船長Ａの回答書によれば、次のとおりであった。

１９８２年に外航船を運航する会社に入社して１９９６年まで外航貨物船などに乗り組み、１９９６年、船長免状を取得後、一等航海士として重量物運搬船に乗り組んだ。２００８年5月１６日、Ａ船に一等航海士として乗り組み、本事故当日9月１日の０８時００分、船長に昇進した。

②　甲板手Ａ（クレーン操縦士）

甲板手Ａの口述によれば、次のとおりであった。

２０００年に甲板員として旅客船に乗り組み、２００２年から貨物船に乗り組んだ。クレーンオペレータコースを受講後、重量物運搬船に乗船し、Ａ船には、２００８年5月１４日、甲板手として乗り組んだ。重量物運搬船は、Ａ船が２隻目で、最初に乗船した重量物運搬船でもクレーンの操縦を行っていた。

２．６　船舶等に関する情報

2.6.1　船舶の主要目

(1)　Ａ船

ＩＭＯ番号	９２９２０１０
船　籍　港	マジュロ（マーシャル諸島共和国）
船舶所有者	Willric Shipping Co., Ltd. （マーシャル諸島共和国）

船舶管理会社　　Ａ船管理会社（ドイツ連邦共和国）
総　ト　ン　数　　２３，１１９トン
Ｌ×Ｂ×Ｄ　　１９２．９９ｍ×２７．８ｍ×１５．５ｍ
船　　　　質　　鋼
機　　　　関　　ディーゼル機関１基
出　　　　力　　１５，７８５kW（連続最大）
推　　進　　器　　固定ピッチプロペラ１個
起工年月日　　２００２年5月２９日
進水年月日　　２００３年１１月２８日
船　　　　級　　ＧＬ

(2)　Ｂ船
表示番号　　Ｙ　０６２８
船舶所有者　　個人所有
使　用　者　　船舶使用者Ｆ
積載重量　　５４０ｔ
船　　　　質　　鋼

2.6.2　貨物積載に関する情報

(1)　Ａ船
船長Ａの回答書によれば、Ａ船は、コンテナ８０個（約2，０５７ｔ）、その他の貨物約１３，７００ｔを積載し、Ａ船のローディングマニュアル*7によれば、本件貨物積載前の喫水は、船首約９．３０ｍ、船尾約９．８０ｍであった。

(2)　Ｂ船
運航責任者Ｂの口述によれば、貨物を積載していない状態での喫水が、船首約０．６０ｍ、船尾約０．６５ｍで、本件貨物積載後の喫水は、船首約１．７６ｍ、船尾約１．８１ｍであった。

2.6.3　Ａ船の設備等

(1)　船体の状況
Ａ船は、国際航海に従事する船尾船橋型の重量物運搬船で、甲板下に船首側から順に１番～５番ホールドを有し、甲板上にクレーン４基が装備され、

*7　「ローディングマニュアル」とは、貨物及びバラストの積付け場所、重量等により、船舶の構造に過大な応力が発生することを防止するため、これらの貨物などの積付けの調整に必要な資料をいう。

１号及び４号クレーンは船首尾線上に、２号及び３号クレーンは左舷端に設置されていた。

５番ホールド後方に配置された居住区内に荷役事務室が設けられ、荷役中のバラスト調整を行うことができるようになっていた。

（付図２　Ａ船一般配置図、写真１　Ａ船全景　参照）

(2)　クレーンに関する情報

①　クレーンの主要目

Ａ船管理会社が提出したClass Certificate及びクレーンの取扱説明書によれば、Ａ船に装備されたクレーンは、旋回式ジブ型油圧クレーンで、機械室の底部近くに支点を置くジブを有し、ジブ先端の巻上用シーブに巻上用ワイヤロープを通して貨物を吊る構造となっていて、２号及び３号クレーンには、制限荷重及び制限半径がそれぞれ、３５ｔ及び３５ｍ、３２０ｔ及び１６ｍの２つの巻上装置が装備されていた。

（写真１　Ａ船全景　参照）

②　クレーンの検査

ＧＬの回答書によれば、次のとおりであった。

クレーンは、出荷前にクレーン製造工場で外観検査等を、船舶に設置されたのちに荷重試験を、いずれもＧＬの検査員が立ち会いの下で行っている。船舶の就航後は、毎年、クレーンの作動試験、揚貨装具の点検及び損傷箇所の点検などを、また、５年ごとに荷重試験を実施するようＧＬの規則（Regulations for the Construction and Survey of Lifting Appliances）に定めている。

クレーンを構成している部品の検査に関しては、その部品の重要度によって、カテゴリー１～３の３段階に分けて検査の方法を定めている。シーブは、カテゴリー２に分類され、製造中の検査を行っていなかった（カテゴリー１に分類された部品については、製造中の検査を行っている。）。

(3)　３号クレーンに関する情報

３号クレーンは、３番ホールドと４番ホールドの間の左舷端甲板上に設置され、機械室中央前面に操縦室が配置されていて、機械室内には、ウインチ類、旋回装置、油圧ポンプ装置などが設置されていた。Ａ船が提出した３号クレーンのジブ詳細図によれば、ジブの長さは約３５．５ｍであった。

（付図２　Ａ船一般配置図、付図５　３号クレーン機械室図　参照）

①　操縦室

操縦室は、前方及び上下左右が見渡せるようになっており、操縦室中央

に操縦席が、その両側に操縦盤が取り付けられていた。

左側の操縦盤には、旋回及びジブの起伏を１本の操作レバーで操縦できるジョイスティック型操作レバー、始動及び停止ボタン、緊急停止ボタンなどが取り付けられており、右側の操縦盤には、３５ｔ巻上用操作レバー及び３２０ｔ巻上用操作レバー、ワイパースイッチ、照明スイッチなどが、また、前面左側にデジタル式荷重計が取り付けられていた。

（写真９　３号クレーン操縦室　参照）

②　ワイヤロープ巻上ウインチ等

ワイヤロープ巻上ウインチは、機械室内部に設置され、上から順に３５ｔ巻上ウインチ（以下「補助巻上ウインチ」という。）、ジブ起伏ウインチ、３２０ｔ巻上ウインチ（以下「主巻上ウインチ」という。）が、また、基部には旋回装置が設置されていた。

（付図５　３号クレーン機械室図　参照）

③　ジブ先端シーブの配置

ジブ先端には、操縦室から向かって左側から順に主シーブＢ、主シーブＡ、ジブ起伏シーブ４個、そして右端に主シーブＣが、さらに、その先に３５ｔ巻上用シーブ２個が取り付けられていた。

（付図７　ジブ及びシーブ図、写真３　３号クレーンジブ先端のシーブ　参照）

④　ワイヤロープの装備状況

ａ　主ワイヤ

主ワイヤは、呼び径[*8]７２㎜で、機械室上部の主シーブＤの近くで一端が固定され、ジブ先端の主シーブＡ、機械室上部の主シーブＤを経由してジブ先端の主シーブＢから主フックブロックを吊り、ジブ先端の主シーブＣと機械室上部の主シーブＥを介して主巻上ウインチのドラムに巻き取られるようになっていた。

ｂ　３５ｔワイヤロープ

３５ｔワイヤロープは、ジブ先端のシーブ近くで一端が固定され、ジブ先端のシーブから３５ｔフックブロックを吊り、ジブ先端の別のシーブと機械室上部のシーブを介して補助巻上ウインチのドラムに巻き取られるようになっていた。

ｃ　ジブ起伏ワイヤロープ

[*8]　「呼び径」とは、部品の寸法を代表する直径（公称径）のことをいい、ワイヤロープでは外接円の直径をいう。例えば、ねじやナットのように測る場所によって直径や外径が異なる形状の部品の場合に、公称値として呼び径をつける。

機械室上部のシーブ近くで一端が固定されたワイヤロープは、ジブ先端の起伏用シーブと機械室上部のシーブの間を４往復した後、ジブ起伏ウインチのドラムに巻き取られるようになっていた。

（付図６　ワイヤ装備図、付図７　ジブ及びシーブ図　参照）

⑤　主ワイヤ使用時の最大荷重

ワイヤロープ装備図（Rigging Plan）によれば、３号クレーンを制限荷重の３２０ｔで使用した場合、主ワイヤにかかる最大荷重は、約１７２ｔであった。

⑥　クレーンの制限荷重と制限半径の関係

取扱説明書によれば、主巻上ウインチを使用した場合の制限荷重とクレーン本体からフックまでの制限半径の関係は次表のとおりであった。

制限荷重	制限半径
３２０ｔ	６．０～１６．０ｍ
２５０ｔ	５．０～２０．０ｍ
２００ｔ	４．５～２５．０ｍ
１２５ｔ	４．５～３２．０ｍ
６５ｔ	４．０～３２．０ｍ

（付図８　制限荷重と制限半径図　参照）

2.6.4　Ｂ船に関する情報

運航責任者Ｂの口述によれば、次のとおりであった。

Ｂ船は、船首に倉庫、中央に船倉、船尾に小部屋が配置されていて、船倉は、長さ約２８ｍ、幅約７．８ｍ、深さ約３．６ｍで、ハッチ口は、長さ約２７ｍ、幅約６．８ｍであった。

船底は、厚さ約１０㎜ の鋼板の船底外板上に梁（はり）を約５０㎝ 間隔で置き、その上に厚さ約８㎜ の鋼板を張って貨物を積載する貨物倉底を構成していた。

（写真２　Ｂ船全景　参照）

２．７　３号クレーンの整備に関する情報

Ａ船管理会社の回答書によれば、次のとおりであった。

(1)　Ａ船乗組員による整備状況

Ａ船乗組員は、Ａ船管理会社が作成した、船内搭載機器類の整備内容、整備間隔等をコンピューター管理する PLANNED MAINTENANCE SYSTEM（以下「ＰＭＳ」という。）に従って、ワイヤロープやシーブへのグリース塗布、ギヤオイル及びフィルターの交換などの整備作業を行い、また、整備内容を記

録していた。

なお、ＰＭＳによれば、主ワイヤの取替間隔は、６０か月ごとであった。

(2)　事故前の造船所での整備状況

Ａ船は、就航後５年を経過したことから、平成２０年８月に中華人民共和国上海の造船所で、主ワイヤの取替えを含めたクレーンの整備が、Ａ船のクレーン製造会社（以下「本件クレーン製造会社」という。）及び造船所の作業員らによって行われたのち、ＧＬの検査員及び本件クレーン製造会社の担当者が立ち会ってＧＬが定めた重量である３５２ｔの荷重試験が実施された。なお、その際、安全装置のテストなどの検査が実施された。

また、検査後、主ワイヤ納入会社の担当者が立ち会い、主ワイヤの目視点検が実施された。

クレーンの検査及び主ワイヤの目視点検において、不具合は発見されなかった。

２．８　事故前のクレーン使用状況に関する情報

船長Ａの口述によれば、１００ｔ以上の貨物をＡ船のクレーンを使用して巻き上げる場合は、フィリピン共和国が発行したクレーンオペレータコースの証書を有するＡ船の乗組員がクレーンの操縦を行い、主ワイヤにかかる荷重が約２０ｔ増すごとに、バラストの調整を行っていた。Ａ船は、平成２０年８月の造船所での検査を終えたのち、大韓民国の馬山港で３号クレーンを使用し、約２２７ｔと約２００ｔの貨物を４番ホールドに、阪神港神戸区では２号クレーンと３号クレーンとを併用して約３２１ｔの貨物を３番ホールドに積み込んだ。

２．９　事故直後の割損した主シーブの状況

事故直後に撮影された写真によれば、主シーブＣのリムが割損し、リム割損面にはワイヤガイド面の裏側にあたる部分に錆の発生が認められた。

（写真３　３号クレーンジブ先端のシーブ、写真４　３号クレーンジブ先端、写真１０　主シーブＣ割損及び錆状況　参照）

２．１０　調査及び分析結果に関する情報

Ａ船管理会社の依頼により、ドイツ連邦共和国の調査及び分析会社（以下「本件分析会社」という。）が作成した「貨物落下事故に関する原因調査」報告書（以下「本件調査書」という。）によれば、Ａ船から取り外された破断部を含む主ワイヤ、割損した主シーブＣ及び非損傷の主シーブＥが、平成２０年９月２２日、本件分析会社に送付され、破断及び割損原因の調査のための分析が行われた。

また、割損した主シーブＣと比較する目的で、Ａ船管理会社が管理するＡ船の同型船から取り外された主シーブＣと同一の主シーブ及び未使用の主シーブ並びに主シーブ製造会社からシーブのリムとなる加工前のＬ形アングル鋼[*9]が、それぞれ本件分析会社に送付された。

本件調査書による調査及び分析結果は、次のとおりであった。

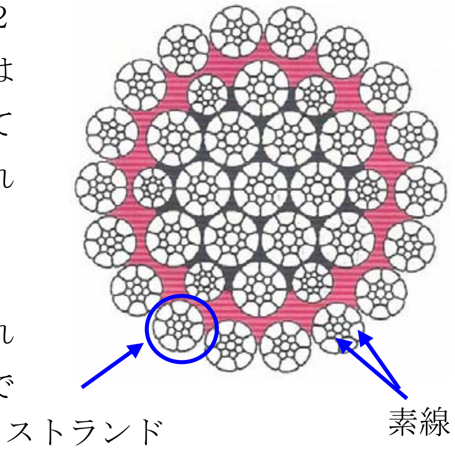
2.10.1　主ワイヤに関する情報

(1)　構成

主ワイヤは、１本のストランド[*10]をワイヤロープの中心に入れて芯とし、その周囲に６本のストランドを一定のピッチで芯のストランドに巻き付けるように縒り合わせ、その周囲を直径が異なる２種類のストランド各６本を縒り合わせ、外周は１８本のストランドを縒り合わせて構成されていて、表面には錆防止用の亜鉛メッキが施されていた。

(2)　強度

ＧＬが発行した主ワイヤの検査証明書によれば、主ワイヤは、破断荷重[*11]が約６５５ｔであった。



主ワイヤ断面図

2.10.2　主シーブに関する情報

主シーブは、ワイヤガイド面を構成するリム、中心部の軸受を包むハブ、それらをつなぐ２枚のウェブで構成され、リムとウェブ及びウェブとハブがそれぞれ溶接によって接合される構造で、リムのワイヤガイド面溝底までの外径が約１，４５０㎜、リム先端までの外径が約１，６５０㎜、リムの幅が約１５６㎜、ハブの幅が約１６０㎜、リムの厚さが約１５㎜、ウェブの厚さが約１８㎜、ワイヤガイド面溝底部の半径が約３８㎜であった。

（付図７　ジブ及びシーブ図　参照）

---

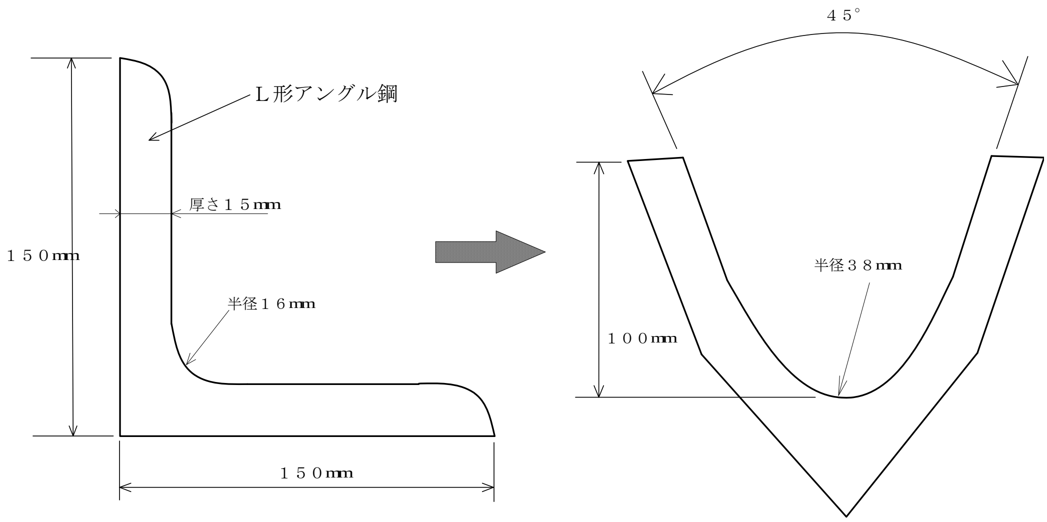
*9　「アングル鋼」とは、断面が、Ｌ形やＴ形等の鋼材をいう。

*10　「ストランド」とは、複数の素線（ストランドを構成する鋼線）を縒り合わせて束にしたものをいう。

*11　「破断荷重」とは、引張試験において、試験片が破断するまでに加えられた最大の荷重をいう。

2.10.3　主シーブのリムに関する情報

リムは、ＤＩＮ[*12] 規格がＳ３５５Ｊ２Ｇ３[*13] の、幅１５０㎜、厚さ１５㎜、挟角側の断面の半径が１６㎜ のＬ形アングル鋼を材料とし、それをワイヤガイド面の溝底半径が３８㎜、溝の角度が４５° になるよう曲げ加工及び整形が冷間加工[*14]により行われて製造されていた。



リムの製造

2.10.4　破断した主ワイヤに関する情報

(1)　外観検査

主ワイヤは、破断部以外の部分に関する外観検査では、潤滑不足は認められず、ストランドの縒り状態も正常であった。主ワイヤの表面は滑らかで、外側の素線は損傷しておらず、また、腐食は認められなかった。

一方、破断部及びその近傍では、芯線の表面プラスティックコーティングが破損しており、外側の素線やストランドに損傷が認められた。

(2)　形状調査

主ワイヤと新品のワイヤロープについて、次の項目を比較したが、差異はなかった。

①　ワイヤロープの外観

---

*12　「ＤＩＮ」とは、ドイツ規格協会（Deutsches Institut für Normung e.V.）が制定するドイツ連邦規格（Deutsche Normen）の略称である。

*13　「Ｓ３５５Ｊ２Ｇ３」とは、ＪＩＳ規格ＳＭ５０相当の鋼のことをいい、引張強度（材料に引張荷重をかけた場合、破断するまでに生じる最大の引張応力）は、４９０N/mm^2である。

*14　「冷間加工」とは、高温で行う熱間加工に対して常温で行う加工をいう。熱間加工に比べて精度が高く、また、加工硬化によって強度が増加するが、延性が乏しいため、加工度を熱間加工ほど大きくできず、残留応力も蓄積される。延性を増加させるためには熱処理が必要となる。

② 製造プロセス
③ 芯部のプラスティック被覆、ストランド、素線の配置と本数
④ 素線、ストランド、ワイヤロープの外径
⑤ ストランドの方向、素線の縒り方
⑥ ストランドの縒り及び角度
⑦ 素線、ストランドの縒り線状態の寸法
⑧ ストランドの直径

(3) 材料強度試験

主ワイヤの素線５９３本中、１４９本（約２５％）について強度試験を行った。素線の強度の総和から主ワイヤの破断荷重を算出したところ、約６０７ｔであった。ＧＬの検査証明書では、破断荷重は約６５５ｔであったが、両者の差は、ストランドのまとめ方によるものと考えられる。

以上のことから、破断した主ワイヤに強度上の問題はなく、品質の異状も見られず、破断したのは過大荷重が作用したことによる二次的な損傷である。

2.10.5 割損した主シーブに関する情報

(1) 主シーブＣに関する情報

調査及び分析結果は、以下のとおりであった。

① 割損面の状況

(a) リムは、全周にわたって割損しており、割損面にはワイヤガイド面の裏側にあたる部分に錆が発生していた。また、多くの割損面では、へき開破壊[*15]が観察され、延性破壊[*16]の場合に認められる板厚方向の収縮はほとんど認められなかった。

(b) 割損面にはワイヤガイド面側の一部に、延性破壊の特徴であるディンプル[*17]が観察された。

(c) 割損面には疲労破面[*18]は認められなかった。

---

*15 「へき開破壊」とは、ほとんど塑性変形（材料に加えた力を除去しても元の形に戻らない変形）を伴わないぜい性破壊の一種で、へき開面（結晶構造体で、原子間の結合力の弱い面で割れる破面）に沿って破壊することをいう。なお、ぜい性破壊とは、最終破断まで著しい伸びや絞りを伴わない破断をいい、ガラスの破壊はこれに属する。

*16 「延性破壊」とは、引張り力を加えた場合の伸びや絞りなどの塑性変形を伴う破壊をいう。

*17 「ディンプル」とは、破面に残ったくぼみのことをいう。金属材料が外力を受けると変形に伴って微小な空洞が形成され、更に外力を受けると微小な空洞が合体して破壊に至る。この破面に残ったくぼみの形状からディンプルと呼ばれる。

*18 「疲労破面」とは、変動応力を繰り返し受けて疲労により破壊した物体の破面をいい、細かい縞模様が見られる。なお、疲労とは、物体が疲労限度を超える応力を繰り返し受けた場合に強度が低下する現象をいう。

（写真１１　電子顕微鏡による検査状況、写真１２　リム割損状況　参照）

②　化学分析の結果

鉄鋼材料成分の分析結果は、ＤＩＮ規格Ｓ３５５Ｊ２Ｇ３の規格値を満たしており、製造時のミルシート[*19]どおりであった。

③　機械的特性測定結果

リムの引張(ひっぱり)試験及び衝撃試験を実施したところ、引張試験では高い引張強度を有する結果が得られた。一方、衝撃試験では、－２０℃におけるシャルピー衝撃値[*20]のＤＩＮ要求値が２７Ｊ以上であるのに対し、平均値で約２２Ｊ、場所によっては平均値で約１０Ｊと要求値を満たさない低い値であり、最小値は約９Ｊであった。

ミルシートに記載された機械試験結果と比較すると、引張試験結果は高い値が得られたが、衝撃値は低下していた。

④　溶接部の観察結果

リムとウェブの溶接部分の観察によれば、溶着金属が完全に溶け込んでいない状態（以下｢未溶着｣という。）が一部に認められたが、亀裂伝搬経路が溶接ルート部[*21]を通過しておらず、割損の原因になった形跡は認められなかった。

（写真１３　ワイヤガイド面の裏側　亀裂発生状況（主シーブＣ）　参照）

⑤　硬さ測定結果

リムに加工する際に大きく変形させた部分（高変形部であるワイヤガイド面裏側）と変形が少ない部分（低変形部であるワイヤガイド面）の硬さを測定した結果、低変形部の硬さが２３０Ｈｖ[*22]であるのに比べ、高変形部の硬さは２８４Ｈｖと硬さが増加しており、引張強度も元の材料と比べて増加していた。

上記①～⑤から、化学成分は、リムとウェブの溶接部分に異状はなく、機械的性質は、リムに関してミルシートに記載された値と比較すると、シャルピー衝撃値と伸びが小さく、引張試験結果は上回っていた。溶接部分は、溶

---

*19　「ミルシート」とは、鋼材の材質を証明する添付資料のことをいい、工場や製造所（mill）が発行する紙であること（sheet）から、mill sheet と呼ばれている。

*20　「シャルピー衝撃値」とは、切り欠きをつけた試験片をハンマーで破壊し、破壊に要したエネルギーを試験片の断面積で割った値をいい、靭性（ねばり強さ）を表わすのに用いられる値で、数字が大きいほど靭性が高い。

*21　「溶接ルート部」とは、溶接材料の断面で、それぞれの部材の溶接面の向かい合う点をいう。

*22　「Ｈv」とは、ビッカース硬さの単位をいい、数字が大きいほど硬い。ビッカース硬さは、試験片にピラミッド形の圧子を押し込んだあとのへこみから硬さを求める。

接ルート部に未溶着の部分が認められたが、割損の直接原因ではなく、硬さは、リムの硬くなっている部分を除けば異状は認められなかった。

(2)　金属組織のミクロ断面観察結果

主シーブＣのほかに，比較のため、非損傷の主シーブＥの調査を行った。結果は、以下のとおりであった。

①　主シーブＣ

ミクロ観察[*23]では、リムのワイヤガイド面の裏側で、アングル鋼製造時に生じたかぶり（亀裂のような小さな傷、overlappings）や材料を製造する際の圧延[*24]時のスケール[*25]巻込み（rolled-in scales）によってできる微小亀裂が認められ、内部に酸化スケールが詰まっていた。亀裂の深さは、７５～１１３μｍであった。

また、ワイヤガイド面は通常の金属組織であったが、ワイヤガイド面の裏側は大きく変形しており、金属組織が伸びて絞られた形態を示し、これによりリム表面の硬さが増加して靭性が低下していることが判明した。

（写真１３　ワイヤガイド面の裏側　亀裂発生状況（主シーブＣ）　参照）

②　主シーブＥ

ミクロ観察では、割損した主シーブＣと同様に、ワイヤガイド面の裏側で、アングル鋼製造時に生じたかぶりや圧延時のスケール巻込みによってできる微小亀裂が認められ、内部に酸化スケールが詰まっていて、亀裂の深さは、約６２～１１７μｍであった。

また、ワイヤガイド面の裏側は大きく変形しており、金属組織が伸びて絞られた形態を示していたが、ワイヤガイド面は通常の金属組織であった。

（写真１４　ワイヤガイド面の裏側　亀裂発生状況（非損傷の主シーブＥ）　参照）

以上のことから、いずれのシーブにおいてもアングル鋼製造時に生じたかぶりや圧延時のスケール巻込みによってできる微小亀裂がシーブの表面に形成されており、また、リム加工時に、大きな変形を冷間加工で行ったことにより、リム部表面の硬さが増加したものと考えられる。

(3)　Ａ船と同型船のシーブ、未使用のシーブ及びシーブに加工前のＬ形アングル鋼に関する情報

---

*23　「ミクロ観察」とは、肉眼では識別できない微細組織を観察することをいう。

*24　「圧延」とは、２個以上のロールを回転させ、その間に金属材料を通して成形、加工することをいう。

*25　「スケール」とは、金属表面に生じる酸化物の被膜のことをいう。

① 同型船のシーブ

同型船の２号及び３号クレーンに取り付けられていたシーブのワイヤガイド面の裏側で、大きな亀裂が認められたほか、かぶりや圧延時のスケール巻込みによってできる微小亀裂も認められた。

なお、大きな亀裂の破面には、疲労破面は認められなかった。

② 未使用のシーブ

未使用のシーブにおいて、ワイヤガイド面の裏側からワイヤガイド面近くに達する亀裂が認められ、また、その際に弾性変形[*26] が認められたことから、リム製造時に冷間加工を行った際の残留応力[*27] やリムにウェブを溶接した際の残留応力が存在していたと判断され、残留応力の除去が行われていなかった。

③ 加工前のＬ形アングル鋼

加工前のＬ形アングル鋼を切断したところ、かぶりや微小亀裂が認められた。

（写真１５　同型船シーブ状況、写真１６　未使用シーブの亀裂状況　参照）

(4)　結論

上記(1)～(3)から、リムの材料であるアングル鋼は、製造される過程で表面に微小亀裂が形成され、また、リムに加工される際、曲げ加工及び整形が冷間加工で行われ、この加工により、リム表面の硬さが増加したことから靱性が低下し、アングル鋼製造時の微小亀裂が応力集中部となり、リムが割損した。通常の使用応力でも、リムが破壊するおそれがあったものと考えられる。

2.10.6　有限要素法[*28]による計算結果

ワイヤガイド面の裏側に、(1)亀裂がないモデル (2)ウェブ近くに深さ８㎜ の亀裂があるモデル (3)ウェブ近くに深さ１㎜ の亀裂があるモデルの３種類について、３２０ｔの荷重を加えて解析した結果、次のとおりであった。

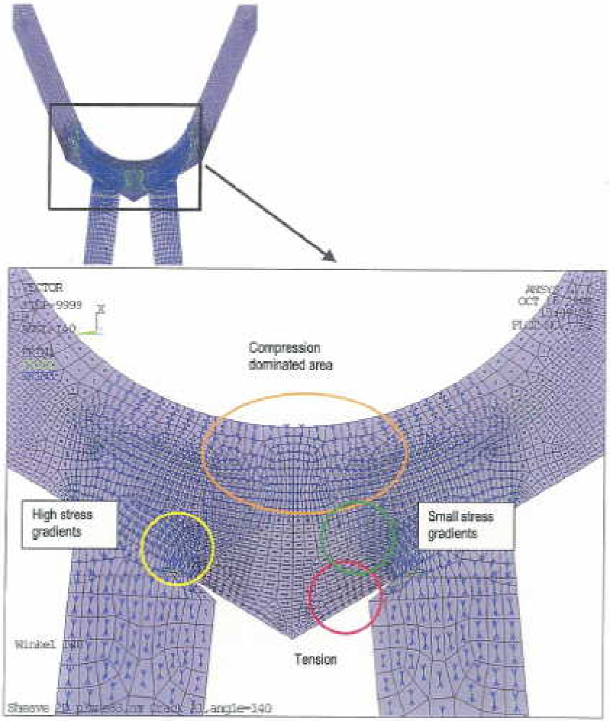
[*26] 「弾性変形」とは、物体に力を加えると変形するが、その力を取り除くと元の形に戻るような変形のことをいう。

[*27] 「残留応力」とは、圧延、鍛造、熱処理、溶接などによる急激な環境変化で生じた不均一塑性変形の結果として金属内に生じて残留した応力をいう。

[*28] 「有限要素法（Finite Element Method, ＦＥＭ)」とは、数値解析手法の１つで、複雑な形状物体を単純化するまで小さく分割し、それぞれの部分の計算結果を足し合わせることで、全体の計算結果を近似値として求める手法をいう。

(1)　亀裂がないモデル

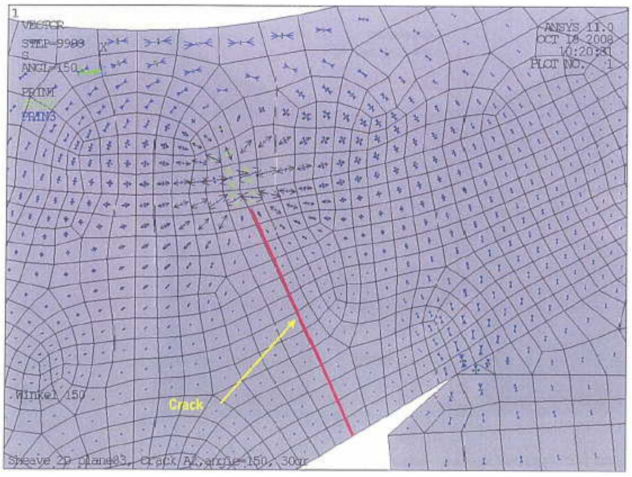
リムとウェブの溶接部分で、最も高い圧縮応力が作用したが、割損面の状況から、亀裂は溶接部から生じたものではない。



ＦＥＭ応力分布図（亀裂なし）

(2)　ワイヤガイド面の裏側に深さ８㎜の亀裂があるモデル

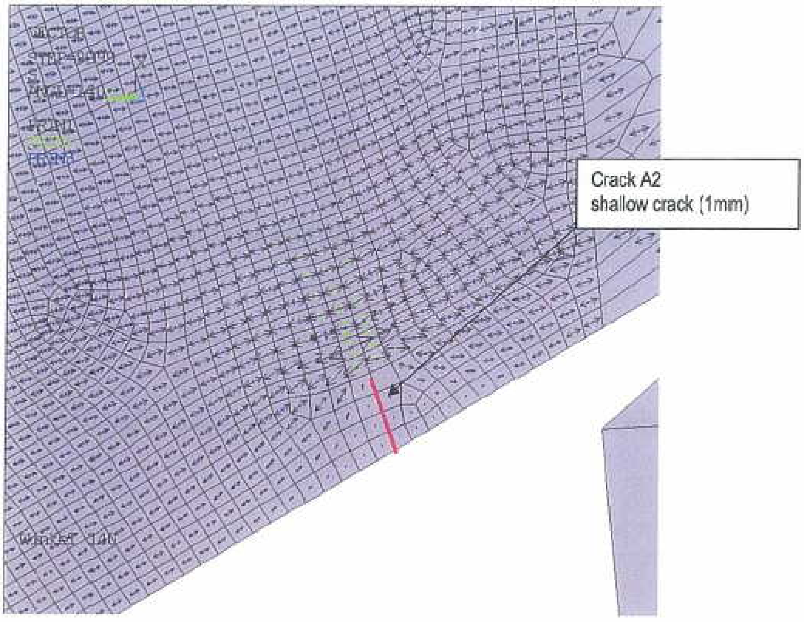
下のＦＥＭ応力分布図（亀裂８㎜）から、亀裂先端部では、大きな引張応力が発生していることを読み取ることができた。



ＦＥＭ応力分布図（亀裂８㎜）

(3)　ワイヤガイド面の裏側に深さ１mmの亀裂があるモデル

下のＦＥＭ応力分布図（亀裂１mm）から、亀裂先端部で、引張応力が発生していることを読み取ることができた。



ＦＥＭ応力分布図（亀裂１mm）

2.10.7　ぜい性破壊発生の時点

本事故は、主シーブＣのリムが割損し、主ワイヤがその隙間に入り込んで引っ張られ、最後に主ワイヤが主シーブＣのハブまでに落ち込んだときに動的な大きな荷重がかかり、この荷重で主ワイヤが破断したものと考えられる。したがって、主シーブＣのリムは、主ワイヤの破断前にぜい性破壊が発生して割損したものと考えられる。

2.10.8　破壊機構解析の結果

亀裂が存在している部材の安全性評価には、通常、破壊機構解析が使用され、ＢＳ７９１０[*29]を用いて、この評価を実施した。

(1)　深さ８mmの亀裂がある場合の解析結果

シーブのシャルピー衝撃値が２７Ｊ以上あれば、破壊しない。また、応力拡大係数[*30]は、ウェブとウェブの間隔が広がり、ハブの幅が広がるほど大

[*29]　「ＢＳ７９１０」とは、British Standard 7910 の略で、溶接構造物のひび等が、許容できるかを評価するための指針である。

[*30]　「応力拡大係数」とは、亀裂先端近傍の応力分布こう配の激しさ（応力状態）を表わす値をいい、ぜい性破壊判定の基準として使用される。

きくなり、破壊しやすくなる。

(2)　深さ１㎜の亀裂がある場合の解析結果

亀裂は、不安定破壊（ぜい性と延性が混在する破壊）を起こさないが、進展する可能性がある。

(3)　２次応力の影響

２次応力のレベルは不明であるが、残留応力レベルを降伏点の５０％として解析すると、１㎜ の亀裂では問題にならなかったが、８㎜ の亀裂では、シャルピー衝撃値が２７Ｊであっても、不安定破壊を起こす可能性がある。

(4)　疲労破壊の可能性

詳細な調査結果から、割損部が溶接部でなかったこと、熱影響部でなかったこと、及び破面観察から疲労破面が見られなかったことから、疲労が問題ではないことが明らかになった。

(5)　要約

ワイヤガイド面裏側の亀裂の深さを変えて亀裂先端部の応力拡大係数と材料の破壊靭性値[*31]を比較した結果、応力拡大係数は、亀裂が深いほど大きくなる。

溶接部の残留応力レベルを降伏点[*32]の約５０％とし、この残留応力を考慮すれば、深さ８㎜の亀裂の場合、シャルピー衝撃値２７Ｊの材料であっても、亀裂は伝搬するが、浅い亀裂に対しては、シャルピー衝撃値が６Ｊ の材料でも応力拡大係数は低く、亀裂は伝搬しない。

以上のことから、主シーブＣが長時間使用されたことによる疲労損傷や疲労亀裂伝搬が生じてリムが割損したとは考えられず、ワイヤガイド面の裏側の亀裂が深いほど、また、ウェブとウェブの間隔が広いほど応力拡大係数が大きくなり、シャルピー値が高い場合でもぜい性破壊が発生する。

２．１１　独立行政法人海上技術安全研究所による本件調査書の評価に関する情報

独立行政法人海上技術安全研究所（以下「海技研」という。）に、本件調査書の次の事項について、内容の妥当性について評価を委託した。

(1)　ワイヤロープの破断原因の経過を確認する。

(2)　主シーブＣの製造過程におけるアングル鋼の冷間加工の影響等を検討した内容を精査し、部材欠陥の評価の妥当性を確認する。

---

*31　「破壊靭性値」とは、材料に切り欠きがある場合の材料強度を表わす指標をいう。

*32　「降伏点」とは、物体に加える外力を次第に大きくした際、応力が増加せずに物体の変形が急速に増加する点の応力をいう。

(3)　有限要素法による主シーブC断面における応力の評価が妥当であるかを判断する。

(4)　主シーブCのぜい性破壊発生の時点の明確化及び破壊機構解析の妥当性を確認する。

海技研の評価結果によれば、次のとおりであった。

2.11.1　ワイヤロープ破断原因の経過の確認

ワイヤロープの材料強度試験において、素線試験と算術和で破断荷重を算出していることは、実験データの積上げとして評価できる。また、破断したワイヤロープの調査や素線試験などの解析結果には、誤りはなく、合理的である。

2.11.2　主シーブCの製造過程におけるアングル鋼の冷間加工の影響等を検討した内容の精査及び部材欠陥の評価

割損面には、板厚方向の収縮がほとんど認められず、割損面の荒れ模様と段差の形成が認められることから、へき開破壊が発生したと考えるのは妥当である。

主シーブCの化学成分、機械的性質、溶接部及び硬さに関する調査及び解析結果は、きわめて妥当なものである。特に、溶接部の調査に関し、溶接ルート部に存在する未溶着の部分を損傷原因に直接つながるものではないと解析した点は、亀裂経路が溶接ルート部を通過していない事実を踏まえたものであり、重要である。

また、シャルピー衝撃値と伸びがミルシート値より低く、引張試験結果が高い点及びリムの高変形部で硬さが高い点は、製造段階における加工硬化によるものであると解析したのは、極めて的確である。

主シーブCの表面の金属組織には表面傷が存在しており、アングル鋼を製造する過程で微小亀裂が生じたとする解析は、極めて適切であり、重要であると評価する。

結論として、アングル鋼製造過程で表面の微小亀裂が形成され、リム加工時の冷間加工による曲げ加工及び整形による表面硬化とアングル鋼製造時の微小亀裂が応力集中部となり割損に至る解析は、鋼材の加工や溶接の実務経験を十分に踏まえたものであり、技術的に正当なものである。

2.11.3　有限要素法による主シーブCのリム割損における応力の評価の妥当性

ぜい性破壊の評価に必要な遭遇応力最大値の算定が厳密ではなく、応力こう配が最大となる位置の割損面内の応力分布を「ＦＥM応力分布図（亀裂なし)」として出力しているが、主シーブCが回転しながら使用される点を考えると、「ＦＥM応力分布図（亀裂なし)」は、近似値としての位置付けになる。

しかし、割損面内の相対的な位置の相違に伴う応力の比率については読取り可能

であり、ワイヤガイド面の裏側の表面亀裂に作用する応力の概算法は次のとおりと考えられる。

ＦＥＭ応力分布図（亀裂なし）から、ウェブに作用する圧縮応力（σh）とワイヤガイド面の裏面の表層部直応力（σs：ワイヤガイド面の裏側において表層面に平行方向、すなわち亀裂面に垂直方向の応力）との関係は、σh がσs の－１／４～－１／３程度（「－」は圧縮を表わす。）であると読み取ることができた。

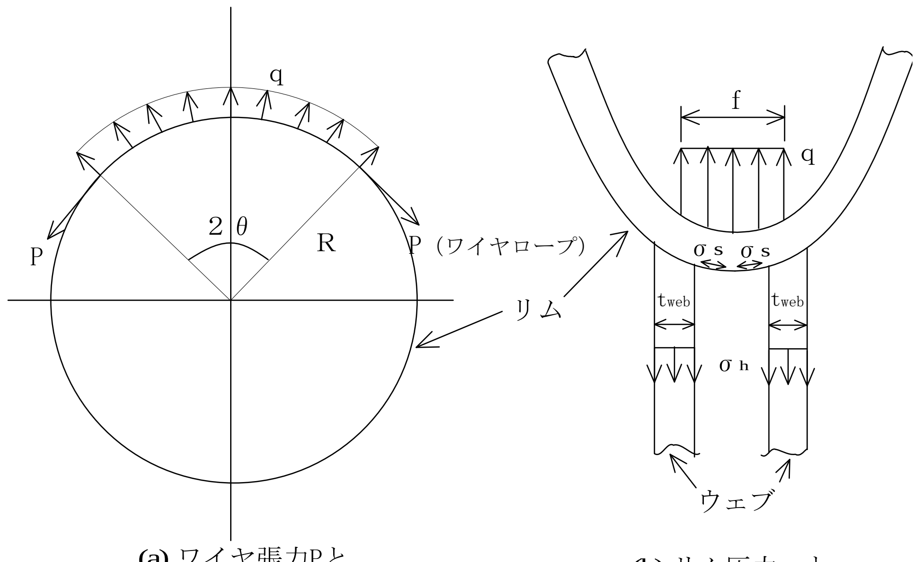
下図(a)から、$q \cdot 2R\theta \cdot f = 2P \cdot \sin\theta$

下図(b)から、$q \cdot f = \sigma h \cdot 2t_{web}$

$\theta \to 0$のとき、$2\theta \cong 2\sin\theta$となることから、

$$\sigma s = (1/4 \sim 1/3) \cdot \sigma h$$
$$= (1/4 \sim 1/3) \cdot P / (2R \cdot t_{web})$$

の主シーブＣの表層部直応力σs とワイヤロープの張力Ｐとの関係を表す略算式が導かれた。



(a) ワイヤ張力Pとリム圧力ｑとの釣合

(b) リム圧力ｑとウェブ軸応力σ_hとの釣合

ワイヤロープ、リム、ウェブ釣合図

2.11.4　主シーブＣのリムのぜい性破壊発生の時点の明確化及び破壊機構解析の妥当性

(1)　リムのぜい性破壊発生の時点の明確化

本件調査書による原因究明結果として、①主シーブＣ加工時にできた表面欠陥→②主シーブＣのリムの割損→③主ワイヤの衝撃荷重発生→④主ワイヤ破断の順序で破壊事象が発生したと演繹的に推定しているが、直接的な物証によるものではない。

ぜい性亀裂は、鋼材中を表面波速度（表層を叩いたときに微小な凹凸変形が伝わる速度で、約２，０００m/s）で伝搬するので、主シーブＣのリム全周を割損する時間は非常に短時間であると考えられる。ぜい性亀裂発生の直前まで釣り合っていた主ワイヤの張力とリム接触圧は、ぜい性亀裂が発生した瞬間に接触圧が急減し、分離した左右リムの隙間へ主ワイヤが落ち込んだ。この主ワイヤに起こった急激な移動が、主ワイヤの張力の急変を引き起こし、衝撃的な過大荷重を生じさせた、と考えるのが自然である。

仮に、主ワイヤの破断が主シーブＣのリムの割損より前に発生したと仮定すると、主ワイヤの破断に導いた力がどのようにして生じたのか説明できない。

(2)　破壊機構解析の妥当性

亀裂が存在している部材の安全性評価に、破壊機構解析が使用され、ＢＳ７９１０を用いて評価を実施したことは妥当である。

亀裂欠陥が存在する材料にある応力が加えられた際、亀裂先端付近の応力の状態がその材料の強度より大きい場合にぜい性破壊が発生する。すなわち、ぜい性破壊の発生条件式は、$K \geqq K_{mat}$ で表される。

K：応力拡大係数

K_{mat}：破壊靭性値

また、破壊力学では、深さａの亀裂が入った板幅ｂの部材に応力 σs が作用した場合の応力拡大係数Ｋは、

$K = \sigma s \sqrt{\pi a} F$ （Ｆはａ／ｂによって決まる係数）

として表され、The Stress Analysis of Cracks Handbook (Hiroshi Tada, Paul C. Paris, George Rankine Irwin 著、Del Research Corporation, Hellertown, Pennsylvania 出版、1973 年）によれば、板幅が亀裂深さに比べて十分大きな場合、つまり、ａ／ｂ＝０の場合、Ｆ≒１．１２であり、

$K \fallingdotseq 1.12 \sigma s \sqrt{\pi a}$

として表される。

2.11.3 の式において、ロープ張力Ｐ＝１００ｔ、１５０ｔ、２００ｔとして試算したが、１５０ｔとしたときの結果は以下のとおりとなった。

表層部直応力 $\sigma s \fallingdotseq P / 3 \cdot 2 \cdot R \cdot t_{web}$

$= 150 \times 9.8 \times 1000 / (3 \times 2 \times 725 \times 18)$

$= 18.8 N/mm^2$

したがって、亀裂深さ８mm のときの応力拡大係数Ｋは、次のとおりであった。

① 残留応力がない場合

K＝１．１２×σｓ×$\sqrt{\pi \times a}$

＝１．１２×１８．８×$\sqrt{\pi \times 8}$

＝１０５．５Ｎ／mm$^{1.5}$

② 仮に残留応力が１５．０kgf/mm^{2}（１４７Ｎ/mm^{2}）であるとした場合

K＝１．１２×σｓ×$\sqrt{\pi \times a}$

＝１．１２×（１８．８＋１４７）×$\sqrt{\pi \times 8}$

＝９３０．７Ｎ／mm$^{1.5}$

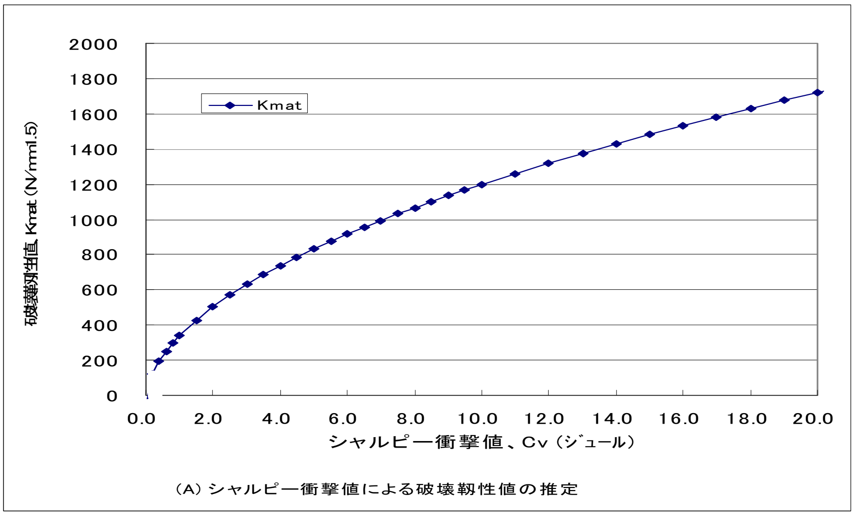
一方、ＢＳ７９１０の相関図によれば、破壊靭性値Ｋmat は、次の式によって表される。

Ｋmat＝（８２０・$\sqrt{Cv}$－１４２０）/Ｂ$^{0.25}$＋６３０

Ｃｖ：シャルピー衝撃値（Ｊ）

Ｂ：材料厚さ（mm）

材料厚さＢ＝１５mm として、この式をグラフに表すと次のとおりとなる。



シャルピー衝撃値と破壊靭性値

グラフから、Ｃｖ＝６ＪとするとＫmat＝９１６Ｎ／mm$^{1.5}$ となり、Ｐ＝１５０、ａ＝８mm、残留応力＝１５．０kgf/mm^{2}（１４７Ｎ/mm^{2}）の場合、Ｋ＝９３０．７Ｎ／mm$^{1.5}$＞Ｋmat＝９１６Ｎ／mm$^{1.5}$ で、ぜい性破壊発生の条件式に合致し、ぜい性破壊の発生があり得ると判断した。

２．１２　Ａ船管理会社が管理するＡ船の同型船に設置されている同型クレーンの主シーブに関する情報

2.12.1　同じ構造のシーブに関する情報

本件クレーン製造会社の回答書によれば、次のとおりであった。

主シーブと同じ構造で冷間加工により製造されたシーブ（以下「同型シーブ」という。）は、１９６０年代より、ドイツ連邦共和国製のクレーンに一般的に使用されていて、本件クレーンの主シーブ製造会社では約４０年間の製造実績があり、本件クレーン製造会社は約３０年間にわたり、主シーブ製造会社から同型シーブの供給を受けてきた。本件クレーン製造会社は、長期間、同型シーブを使用したクレーンを製造してきたが、本件のような事故は初めてのことである。

また、同型シーブは、船級協会ＤＮＶ（Det Norske Veritas）やＧＬなど、多くの船級協会から製造工程について認証を受けており、製造工程に問題はない。

2.12.2　主シーブ点検状況

Ａ船管理会社の回答書並びに本件荷役管理会社の労務担当者の口述及び回答書によれば、Ａ船管理会社が管理するＡ船の同型船は８隻あり、いずれも京浜港横浜区に寄港する。各船に４基設置されているクレーンは、一部を除いて全てＡ船と同じ本件クレーン製造会社が製造したものである。本事故後、Ａ船管理会社の担当者が立ち会って専門業者が超音波探傷[*33]による主シーブの点検を行った。その結果、各クレーンに５個ずつ、１船当たり１０個取り付けられている主シーブ９０個中、３７個に亀裂が存在する欠陥が発見され、それらの欠陥シーブを取り替えた。

２．１３　溶接構造のシーブについての船級規則に関する情報

ＧＬの規則（Regulations for the Construction and Survey of Lifting Appliances）によれば、溶接構造のシーブに関する規定はなかった。

２．１４　本件貨物の落下に関する情報

2.14.1　本件貨物巻き上げ時の３号クレーンの操縦に関する情報

船長Ａ及び甲板手Ａ並びに本件荷役会社Ｃの労務担当者及び作業担当者の口述によれば、３号クレーンの主フックブロックから本件貨物にグロメットが掛けられて巻上げが開始され、貨物が貨物倉底から完全に離れるまでの間、いつもどおり操縦室の荷重計が約２０ｔ増すごとに巻上げを止めてバラストの調整が行われていた。本件貨物がＢ船の貨物倉底から離れた後は、荷重計が約２９０ｔを表示しており、途中で停止することなく滑らかな動きで、一定の速度で巻き上げられていた。

また、船長Ａの回答書によれば、本件貨物巻上げ中の３号クレーンから主フックブロックまでの使用半径は、制限半径１６ｍに対し、１２ｍ以下であった。

---

*33　「超音波探傷」とは、超音波が物質の境界面で反射する性質を利用し、鋼材などの材料内部の欠陥を探知する非破壊検査をいう。

2.14.2　本件貨物落下時のＡ船上の乗組員及び作業員配置に関する情報

船長Ａ、甲板手Ａ、本件荷役管理会社の荷役担当者、本件荷役会社Ｃの労務担当者及び作業担当者並びに本件荷役会社Ｄの作業担当者の口述によれば、次のとおりであった。

Ａ船３番ホールドのハッチカバー上左舷船首寄りに船長Ａが、同左舷船尾寄りにＡ船の三等航海士が、同中央船尾寄りに本件荷役管理会社の荷役担当者が、３号クレーンの操縦席に甲板手Ａが、上甲板左舷側通路のＢ船接舷部付近に、船首側から順に、本件荷役会社Ｄの作業担当者、本件荷役会社Ｃの作業担当者及び労務担当者が配置されていた。

（付図３　Ａ船乗組員及びＡ船上作業員配置図　参照）

2.14.3　本件貨物落下時のＢ船及びＢ船上の作業員

運航責任者Ｂ並びに荷役作業員Ｃ２、Ｃ３及びＣ５～Ｃ７の口述によれば、次のとおりであった。

(1)　作業員の配置に関する情報

Ｂ船の船首に運航責任者Ｂが、その右舷側に荷役作業員Ｃ６が、左舷船首寄りに荷役作業員Ｃ７が、左舷船尾寄りに荷役作業員Ｃ３が、船尾付近に荷役作業員Ｃ５が、右舷船尾寄りに荷役作業員Ｃ１が、船倉内右舷及び左舷船尾寄りにそれぞれ荷役作業員Ｃ２及びＣ４が配置されていた。

（付図４　Ｂ船状況図　参照）

(2)　本件貨物落下直後の作業員の状況に関する情報

①　運航責任者Ｂ

船首甲板上で本件貨物が巻き上げられるのを見ていたとき、本件貨物が落下してきたので、すぐに左隣のはしけに乗り移った。

②　荷役作業員Ｃ１

荷役作業員Ｃ２は、本件貨物がＢ船の船倉口を過ぎたのち、荷役作業員Ｃ１が船倉内を前方から後方へ移動し、そして、甲板上に上がってＢ船の右舷甲板を前方に向かって歩いていくのを見たが、その後は見ていない。

また、荷役作業員Ｃ５は、本件貨物が落下する直前に、荷役作業員Ｃ１がＢ船の右舷甲板上、すなわちＡ船の左舷外板と接するＢ船の舷側で荷役作業員Ｃ５から１～２ｍ離れた右舷船尾甲板上にいるのを見たが、本件貨物が落下した後は見ていない。

③　荷役作業員Ｃ２

船倉内右舷後方で片付けを行っているとき、叫び声が聞こえるのと同時に本件貨物が落下して船倉底部を突き破り、海水が噴き出した。逃げよう

としたが転び、噴き出した海水に飲み込まれたが、Ｂ船が沈み始めて船倉口のへりをつかみ、近くの浮遊物の上に乗った。

④　荷役作業員Ｃ３

左舷甲板上を船首から船尾方向に移動中、本件貨物が落下し、その衝撃で転んだ。起き上がろうとしているうちにＢ船が沈み始めて海面に投げ出された。

⑤　荷役作業員Ｃ４

荷役作業員Ｃ２は、荷役作業員Ｃ４が船倉左舷側で片付けをしているときに貨物が落下し、噴き出した海水に飲み込まれるのを見た。

⑥　荷役作業員Ｃ５

甲板上を左舷後方から後方に移動中、ワイヤロープが切れるような音を聞き、本件貨物を見たとき、本件貨物が落下して船倉底部を突き破り、海水が流入して気が付いたら海中にいた。

⑦　荷役作業員Ｃ６

船首右舷甲板上で本件貨物が巻き上げられるのを目で見ていたとき、本件貨物が落下して船倉底部を突き破り、衝撃を受けた。立っていることができず、ビットをつかんで転ぶのを防ぎ、左隣のはしけに乗り移った。その時には、既に運航責任者Ｂと荷役作業員Ｃ７は、左隣のはしけに乗り移っていた。

⑧　荷役作業員Ｃ７

左舷甲板上で本件貨物が巻き上げられるのを見ていたとき、上の方から声が聞こえ、その直後にワイヤロープが切れるような音がして本件貨物が落下した。Ｂ船が激しく揺れたため船倉口のへりをつかみ、その後、左隣のはしけに乗り移った。

(3)　Ｂ船の状況に関する情報

本件貨物落下後、Ｂ船は、ゆっくりと左方向に回り出し、左舷船尾が左隣に接舷していたはしけから離れ、逆に左舷船首が左隣のはしけに近づいた。

2.14.4　本件貨物の落下状況

本件荷役会社Ｄの作業担当者の口述によれば、本件貨物がゆっくりと巻き上げられ、上甲板左舷側通路で荷役状況を見ていた自分の目の前を過ぎたとき、突然５０㎝くらい本件貨物が下がっていったん止まり、そしてＢ船船倉内に落下した。

2.14.5　本件貨物落下時の音に関する情報

荷役作業員Ｃ５及びＣ７並びに本件荷役会社Ｅの作業員の口述によれば、本件貨

物がゆっくりと巻き上げられ、Ｂ船の船倉底から約７～８ｍ巻き上げられたとき、３号クレーンのジブ先端付近から「ゴーン」という音が聞こえるとともに、「ミチミチ」、「ミリッ」といったワイヤロープの素線が切れるような音が聞こえ、約２～３秒後に再度「ゴーン」という音が聞こえて主ワイヤが破断し、本件貨物がＢ船の船倉内に落下した。

2.14.6　本件貨物落下後のＢ船の状況

運航責任者Ｂ及び荷役作業員Ｃ２、Ｃ３及びＣ５～Ｃ７の口述によれば、次のとおりであった。

本件貨物がＢ船の船倉内に落下し、船倉を突き破って破口が生じ、海水が船倉内に流れ込んだ。Ｂ船は、本件貨物の落下の衝撃で舷端が海面近くまで沈んだのち浮き上がり、そして水没した。

２．１５　本件荷役管理会社及び本件荷役会社Ｃの作業安全管理体制

本件荷役管理会社の荷役担当者、本件荷役会社Ｃの労務担当者及び作業担当者の口述並びに本件荷役会社Ｃが提出した安全衛生教育資料兼作業基準書によれば、次のとおりであった。

本件貨物の船積荷役作業においては、本件荷役管理会社の荷役担当者は、作業開始前に、荷役作業員に対して荷役の説明を行い、その際、ヘルメットや安全靴の着用の確認とクレーンで吊り上げている貨物の真下で作業をしないなどの指導を行った。

また、Ａ船上においては、本件荷役管理会社の荷役担当者は、乗組員に対して荷役方法について打合せを行い、クレーンを使用する前、クレーンの作動状況及びワイヤの点検を行って異状がないことを確認した。

さらに、荷役作業中は、本件荷役会社Ｃの労務担当者による荷役現場の安全パトロールが実施されていた。

本件荷役会社Ｃの労務担当者の口述によれば、本事故当時、本件貨物の真下で作業をしている荷役作業員はいなかった。

２．１６　気象に関する情報

2.16.1　気象観測値

本事故現場の南方約１，２３０ｍに位置する横浜地方気象台の事故当日の観測値は、次のとおりであった。

１０時００分　天気　晴れ、風向　東、風速　２．１m/s、気温　２８．５℃

１１時００分　天気　晴れ、風向　南東、風速　２．４m/s、気温　２８．４℃

2.16.2　乗組員の観測

Ａ船のログブックによれば、Ａ船付近の気象は、次のとおりであった。

０６時００分　風向　東、風速　１．１m/s、気温　２４℃

１２時００分　気温　３０℃

３　分　析

３．１　事故発生の状況

3.1.1　事故発生に至る経緯

２．１、２．２、２．３及び２．１４から、次のとおりであったものと考えられる。

Ａ船は、平成２０年９月１日０８時３０分ごろから、Ａ船左舷側に接舷しているＢ船に積載された本件貨物を３号クレーンを使用して吊上げ中、主シーブＣのリムが割損して主ワイヤが破断した。このため、本件貨物並びに主フックブロック及びグロメットがＢ船に落下してＢ船上の荷役作業員５人が落水し、うち、荷役作業員Ｃ１が死亡し、荷役作業員３人が打撲傷を負った。

また、Ｂ船の船底に破口が生じて、Ｂ船が沈没した。

3.1.2　本件貨物の重量及び本件貨物落下時の本件貨物の高さに関する解析

２．１、2.6.2 及び 2.14.4 並びにＡ船の一般配置図から、本件貨物は実重量約２９０～３００ｔで、Ａ船のクレーンを使用してＢ船から吊り上げられており、本件貨物落下時のＢ船の貨物倉底から本件貨物の下面までの高さは、約８ｍであったものと考えられる。

3.1.3　事故発生日時及び場所

２．１から、本事故の発生日時は、平成２０年９月１日１０時０５分ごろで、発生場所は、横浜ベイブリッジ橋梁灯（Ｐ１灯）から真方位２６６°　１，４００ｍ付近であったものと考えられる。

3.1.4　気象の状況

２．１６から、事故当時の気象は、天気晴れ、東の風、風速約２m/s であったものと考えられる。

３．２　乗組員及び船舶に関する解析

3.2.1　乗組員及び船舶の状況

(1)　Ａ船の乗組員の状況

２．５(1)から、船長Ａは、適法で有効な海技免状を有していた。

(2)　船舶の状況（Ａ船）

①　３号クレーン使用状況

2.6.3(2)①、２．８及び2.14.1から、Ａ船の３号クレーンには、３５ｔ及び３２０ｔ巻上装置が装備されており、重量が３５ｔ以上の貨物を巻上げる場合は、３２０ｔ巻上装置を使用していたものと考えられる。

さらに、１００ｔ以上の貨物を巻き上げる場合には、フィリピン共和国が発行したクレーンオペレータコース終了証書を所有しているＡ船の乗組員がクレーンの操縦を行い、主ワイヤにかかる荷重が約２０ｔ増すごとに、別の乗組員がＡ船のバラスト調整を行っていたものと考えられる。

このため、本件貨物の積載時においても、上記のとおり、甲板手Ａがクレーンの３２０ｔ巻上装置を操縦し、貨物が完全にＢ船の貨物倉底を離れるまでの間、荷重が約２０ｔ増すごとに、別の乗組員がＡ船のバラスト調整を行っていたものと考えられる。

②　Ａ船乗組員による３号クレーンの整備状況

２．７(1)から、Ａ船乗組員は、Ａ船管理会社が定めたＰＭＳに従って整備を行っていたものと考えられる。

③　３号クレーン検査状況

2.1.1 及び２．７(2)から、Ａ船は、就航後５年を経過したことから、平成２０年８月、中華人民共和国上海の造船所において、３号クレーンの主ワイヤが取り替えられたのち、ＧＬの規定どおり制限荷重の１．１倍である荷重３５２ｔの荷重試験が行われ、検査に合格したものと考えられる。

④　３号クレーン検査後の使用状況

２．８から、検査後、大韓民国の馬山港で約２２７ｔと約２００ｔの貨物が３号クレーンを使用して４番ホールドに積み込まれ、阪神港神戸区では、約３２１ｔの貨物が２号クレーンと３号クレーンを併用して３番ホールドに積み込まれたが、当時は３号クレーンに異状は認められなかったものと考えられる。

(3)　船舶の状況（Ｂ船）

2.6.4 及び 2.14.3 から、Ｂ船は、船体中央に船倉を有するはしけであり、本事故時は、Ｂ船の甲板上には、船首に運航責任者Ｂが、その右舷側に荷役作業員Ｃ６が、左舷船首寄りに荷役作業員Ｃ７が、左舷船尾寄りに荷役作業

員Ｃ３が、船尾付近に荷役作業員Ｃ５が、右舷船尾寄りに荷役作業員Ｃ１が、船倉内には、右舷船尾寄りに荷役作業員Ｃ２が、左舷船尾寄りに荷役作業員Ｃ４がそれぞれ配置されていたものと考えられる。

3.2.2　Ｂ船の本件貨物落下場所

２．１及び 2.3.2 から、Ｂ船の船底破口部が船倉中央部であることから、本件貨物は、Ｂ船船倉のほぼ中央部に落下したものと考えられる。

3.2.3　事故発生の背景

(1)　本件貨物の積荷役時における３号クレーンの巻上荷重及び使用半径

2.1.4、2.6.3(2)及び 2.14.1 から、本件貨物がＢ船の貨物倉底から吊り上げられた後は、荷重計が約２９０ｔを表示し、また、一定の速度で巻き上げられていることから、本事故の発生まで急激な巻上荷重の変化はなく、制限荷重を超える巻上荷重とはなっていなかったものと考えられる。

一方、本件貨物巻上げ中の３号クレーンの使用半径は、制限半径以下であったものと考えられる。

(2)　主ワイヤの状況

2.10.4(1)及び(2)から、本事故後、目視による外観検査、形状検査、実測検査などが実施された結果、主ワイヤに品質の異状はなかったものと考えられる。

(3)　主ワイヤの強度及び使用時の荷重

2.10.1(2)及び 2.10.4 から、主ワイヤの破断荷重は、素線強度試験による素線強度の総和から求めると約６０７ｔであり、ＧＬの検査証明書によると約６５５ｔであったものと考えられる。この差は、素線強度試験による破断荷重が、全体の約２５％の素線について強度試験を行い、その総和から求めたものであるため、各素線の強度の差によるものと考えられる。一方、３号クレーンの主ワイヤにかかる最大荷重は、クレーンの制限荷重以下で使用された場合には約１７２ｔ以下であることから、本事故時、主ワイヤは、破断荷重以下で使用されていたものと考えられる。

(4)　事故当時の本件荷役管理会社及び本件荷役会社Ｃの作業安全管理状況

２．１５から、事故当時、本件荷役管理会社及び本件荷役会社Ｃは、安全衛生教育資料兼作業基準書に従って、作業開始前に、荷役作業員に対し、荷役の説明を行い、その際、ヘルメットや安全靴の着用の確認とクレーンで吊り上げている貨物の真下で作業をしないなどの指導を行っていたものと考えられる。

また、船上においては、乗組員に対して荷役方法について打合せを行い、クレーンを使用する前、クレーンの作動状況及びワイヤの点検を行って異状がないことを確認し、さらに、荷役作業中は、本件荷役会社Cの労務担当者による荷役現場の安全パトロールが実施されていたものと考えられる。

３．３　事故要因の解析

3.3.1　主シーブＣのリムの割損

(1)　主シーブＣの製造過程

①　リムの加工状況

2.10.2、2.10.3 及び 2.11.2 から、リムは、材料である挟角側の断面の半径１６㎜ のＬ形アングル鋼を、ワイヤガイド面の溝底半径３８㎜ の形状になるよう冷間加工により曲げ加工及び整形を行って製造されたものと考えられる。

②　リムの材料成分及び機械的特性

2.10.5(1)②、2.10.5(2) 、2.10.5(4)及び 2.11.2 から、リムの鉄鋼材料成分の分析結果は、製造時のミルシートの基準値を満たすものであったが、衝撃試験では、場所によってはシャルピー衝撃値のＤＩＮ要求値を大幅に下回る低い値であり、リム製造時に材料が引き延ばされて絞られており、リム表面の硬さが増加して靭性が低下したものと考えられる。

③　ワイヤガイド面の裏側の状況

2.10.5(1)⑤、2.10.5(2)及び 2.11.2 から、割損した主シーブＣ及び非損傷の主シーブＥのいずれも、ワイヤガイド面の裏側にかぶりや圧延時のスケール巻込みによってできる微小亀裂が認められ、また、加工前のＬ形アングル鋼からも同様の亀裂が認められており、亀裂内に酸化スケールが詰まっていたことから、これらの亀裂は、Ｌ形アングル鋼の製造過程で形成されたものと考えられる。

④　リムの残留応力

2.10.5(3)から、リムには、製造時に冷間加工を行った際の残留応力やリムとウェブを溶接した際の残留応力が除去されずに存在していたことから、主シーブＣのリムにも残留応力が除去されずに存在していたものと考えられる。

⑤　主シーブの製造工程

2.10.5 及び２．１２から、主シーブＣの冷間加工によりリム部表面の硬さが増加し、また、Ａ船管理会社が管理するＡ船及びＡ船と同型船の主シーブのうち、９０個中３７個に欠陥が発見されたことから、主シーブの

製造工程に何らかの不具合があった可能性があると考えられる。

一方、2.12.1 から、本件クレーン製造会社は、同型シーブを使用したクレーンを長年製造していたが、本事故が発生するまで同種の事故は発生しておらず、また、ＧＬなどの船級協会がシーブの製造工程に対して認証を与えていたものと考えられる。

(2) 主シーブＣのリムの割損状況

① 割損面の状況

2.10.5(1)及び 2.11.2 から、リムは、全周にわたって割損しており、ワイヤガイド面側の割損面の一部にディンプルが観察されたものの、多くの割損面でへき開破壊が観察されており、疲労破面が認められなかったことから、ぜい性破壊が発生したものと考えられる。

② リムとウェブの溶接部の状況

2.10.5(1)③及び 2.11.2 から、リムとウェブの溶接部において、未溶着の部分が認められたものの、亀裂伝搬経路が溶接ルート部を通過していないことから、未溶着部分は、リムが割損した直接の要因とならなかったものと考えられる。

③ ワイヤガイド面の裏側の亀裂の状況

２．９から、リムが割損した直後の点検で、リム割損面にはワイヤガイド面の裏側となる部分に錆が認められており、本事故発生前から、ワイヤガイド面の裏側に亀裂が存在していたものと考えられる。

(3) リムが割損するに至った経緯

2.10.5 及び 2.11.2 から、リムは、リム材料であるアングル鋼製造時に生じた微小亀裂がワイヤガイド面の裏側となる部分に存在していたことに加え、冷間加工によるリムの製造過程で、表面の硬さが増加して靭性が低下するとともに、リムの残留応力が除去されなかったこと、及び制限荷重に近い重量の本件貨物を吊り上げたことから、ぜい性破壊条件に合致する状態となり、ワイヤガイド面の裏側に存在していた亀裂先端に応力が集中してへき開面に沿ってぜい性破壊が発生したものと考えられる。

3.3.2 有限要素法による測定結果から得られた主シーブＣのリムの割損に関する解析

2.11.4 から、リムは、主ワイヤにかかる本件貨物の張力Ｐ、リムのワイヤガイド面の裏側の表層面亀裂に作用する応力σs、亀裂の深さａ、シャルピー衝撃値Ｃv及び残留応力の組合せにより、３号クレーン使用時に、ぜい性破壊条件に合致する状態が発生し、割損する可能性があると考えられる。

３．４　事故発生に関する解析

3.4.1　主ワイヤの破断

(1)　本事故時の主ワイヤの状況

2.10.4 及び 2.11.1 から、主ワイヤには、品質上の異状は見られず、破断荷重以下で使用されていたものと考えられる。

(2)　主ワイヤの破断原因

2.10.5(1)、2.10.5(2)、2.10.7、2.11.2、2.11.4(1)、2.14.4、2.14.5 及び 3.3.1(3)から、次のとおりであったものと考えられる。

①　主シーブＣのリムは、ぜい性破壊条件に合致した際、瞬時に全周にわたって割損した。

②　主ワイヤは、リムが全周にわたって割損したことにより、張力が急減し、次いで割損したリムの隙間に落ち込んでハブで止まった際、破断荷重を超える衝撃的な過大荷重が加わり、破断した。

3.4.2　荷役作業員Ｃ１の死亡に至る状況

２．１、２．２、2.3.1 及び 2.14.3 から、荷役作業員Ｃ１は、本件貨物が落下した際、同時に落下した主フックブロック又はグロメットが当たり、落水した可能性があると考えられるが、その状況を明らかにすることはできなかった。

なお、荷役作業員Ｃ１は、本事故当日の夕方、捜索を行っていたダイバーにより海底で発見され、死亡が確認されたものと考えられる。

3.4.3　荷役作業員Ｃ２～Ｃ７及び運航責任者Ｂの負傷等に至る状況

2.14.3 から、荷役作業員Ｃ２～Ｃ４の３人は、本件貨物がＢ船の船倉に落下した際に衝撃を受け、又は落水して打撲傷を負ったものと考えられる。なお、この３人に加え、Ｃ５も落水したが、付近の船舶に全員救助されたものと考えられる。

また、船首部にいた荷役作業員Ｃ６及びＣ７並びに運航責任者Ｂの３人は、本件貨物が落下した直後にＢ船が左方向に回転し、左隣のはしけにＢ船の左舷船首部が接したため、乗り移ることができたものと考えられる。

3.4.4　Ａ船の同型船の２号及び３号クレーン主シーブの点検結果

２．１２から、事故後、Ａ船と同型船の２号及び３号クレーン主シーブの点検が実施された結果、Ａ船の３号クレーンの主シーブＣ以外に取り替えられた主シーブが多数あったことから、Ａ船以外にも亀裂が存在する主シーブが使用されていたものと考えられる。

４　結　論

４．１　分析の要約

(1)　本事故は、Ａ船が、京浜港横浜第１区の山下ふ頭３号岸壁において、装備された３号クレーンを使用してＢ船に積載していた本件貨物を巻き上げ中、主シーブＣのリムが割損したため、主ワイヤが破断し、本件貨物並びに主フックブロック及びグロメットがＢ船に落下して荷役作業員Ｃ１が死亡し、荷役作業員３人が負傷したものと考えられる。

(2)　荷役作業員Ｃ１は、ヘルメット及び安全靴を着用し、Ｂ船の右舷船尾寄りの甲板上にいるとき、落下した主フックブロック又はグロメットが当たったことにより死亡した可能性があると考えられる。

また、荷役作業員Ｃ２、Ｃ３及びＣ４は、ヘルメット及び安全靴を着用し、荷役作業員Ｃ２が船倉内の右舷船尾寄りに、荷役作業員Ｃ３が左舷船尾寄りの甲板上に、荷役作業員Ｃ４が船倉内の左舷船尾寄りにいたところ、本件貨物の船倉内への落下による衝撃を受け、又は落水したことにより、負傷したものと考えられる。

(3)　主ワイヤは、主シーブＣのリムが全周にわたって割損したことにより、主ワイヤに加わっていた張力が急減し、次いで割損したリムの隙間に落ち込んでハブで止まった際、破断荷重を超える衝撃的な過大荷重が加わって破断したものと考えられる。

(4)　主シーブＣのリムは、リム材料であるアングル鋼の製造時に生じた微小亀裂がワイヤガイド面の裏側となる部分に存在していたこと、リムの製造過程で、リム表面の硬さが増加して靭性が低下するとともに、リムの残留応力が除去されなかったこと、及び制限荷重に近い重量の本件貨物を吊り上げたことから、３号クレーン稼働中にぜい性破壊条件に合致することとなり、破断したものと考えられる。

(5)　リムは、リムの製造時に、材料の曲げ加工及び整形が冷間加工で実施され、材料が引き延ばされたり絞られたりしたことから、リム表面の硬さが増加して靭性が低下したものと考えられる。

４．２　原因

本事故は、京浜港横浜第１区の山下ふ頭３号岸壁において、Ａ船が、装備された３号クレーンを使用してＢ船に積載していた本件貨物を巻き上げ中、主シーブＣのリムが割損したため、主ワイヤが割損したリムの隙間に落ち込んで破断して本件貨物並びに主フックブロック及びグロメットがＢ船に落下し、荷役作業員Ｃ１に主フックブ

ロック又はグロメットが当たったこと、及び荷役作業員３人が本件貨物のＢ船船倉への落下による衝撃を受け、又は落水したことにより発生した可能性があると考えられる。

主シーブＣのリムが割損したのは、リム材料であるアングル鋼の製造時に生じた微小亀裂がワイヤガイド面の裏側となる部分に存在していたこと、リムの製造過程で、リム表面の硬さが増加して靭性が低下するとともに、リムの残留応力が除去されなかったこと、及び制限荷重に近い重量の本件貨物を吊り上げたことから、３号クレーン稼働中に主シーブＣのリムのぜい性破壊条件に合致したことによるものと考えられる。

主ワイヤが破断したのは、ジブ先端の主シーブＣのリムが割損し、主ワイヤがその隙間に落ち込んで止まった際、主ワイヤに破断荷重を超える衝撃的な過大荷重が加わったことによるものと考えられる。

5　安全勧告

運輸安全委員会は、本事故調査の結果に鑑み、同種事故の再発防止とするため、クレーン製造会社に対して次のとおり勧告する。

本事故は、RICKMERS JAKARTA の３号クレーンを使用して本件貨物を巻き上げ中、ジブ先端の主シーブＣのリムが割損し、主ワイヤが割損したリムの隙間に落ち込んで破断して本件貨物並びに主フックブロック及びグロメットが１８新栄丸に落下したことにより発生した可能性があると考えられる。

本事故は、事故の約３週間前に３号クレーンの荷重試験が行われて合格したにもかかわらず発生し、割損した主シーブＣのリム割損面にぜい性破壊が観察され、また、非損傷の主シーブＥのリムに大小の亀裂が観察された。

このことから、クレーン製造会社は、溶接構造のシーブについて、大きな曲げ加工及び整形を伴うリムを製造する際は、材料の選択を含む製造工程の管理を適切に行うべきであると考えられる。

６　参考事項

６．１　Ａ船管理会社及びＡ船の対応

Ａ船管理会社の回答書によれば、次のとおりであった。

6.1.1　Ａ船管理会社の対応

(1)　主シーブの点検及び取替え

事故発生直後、Ａ船管理会社は、本件クレーン製造会社及びＧＬに事故の発生を連絡するとともに、Ａ船を含めた同型船９隻に対し、主シーブの詳細な点検と問題が解決するまで、２号及び３号クレーンの３２０ｔ巻上装置の使用を禁止した。

その後、主シーブの詳細な点検を行い、亀裂が発見された主シーブを全て取り替え、荷役を開始する前に主シーブの点検を行うことを条件にクレーンの使用を許可した。

一方で、Ａ船管理会社と本件クレーン製造会社は、原因の調査を行い、リムの材料を、より靭性を高めたＳ３５５Ｊ＋M材に変更して製造過程を改善した改良型主シーブを製造し、クレーン製造会社とＧＬの検査員立会いの下で、本船を含めた同型船９隻の主シーブ計９０個を全て改良型主シーブに取り替えた。

(2)　指示書による指導

Ａ船管理会社は、Ａ船に対し、半年ごとにシーブの目視点検を行って結果を報告させるなど、クレーンの使用方法並びに整備及び点検方法などを記載した指示書を作成し、全管理船に配布して指導を強化した。

6.1.2　Ａ船の対応

Ａ船管理会社の指導に基づき、荷役開始前の点検、ＰＭＳに従った整備の実施の徹底を図った。

６．２　本件クレーン製造会社の対策

本件クレーン製造会社の回答書によれば、本件クレーンの主シーブ製造会社は、次の対策を行い、本件クレーン製造会社は、その対策に対して承認した。

(1)　シーブのリムとして冷間加工で製造するアングル鋼について、種々の試験を行い、必要と判断されれば、冷間加工を行う前にも試験を行うこととした。

(2)　リムのワイヤガイド面の裏側を研磨することにより、かぶりやスケール巻込みによってできる微小亀裂を取り除くこととした。

６．３　本件荷役管理会社及び本件荷役会社Ｃの対応

本件荷役管理会社担当者の口述及び回答書によれば、平成２０年１２月５日労働基準監督署から作業の安全確保に関する指導を受け、これに対し、本件荷役管理会社及び本件荷役会社Ｃは、同年１２月２５日付けで改善報告書を作成し、労働基準監督署あて提出した。

要点は以下のとおりで、本件荷役管理会社及び本件荷役会社Ｃは直ちに実行した。

(1)　貨物がはしけ船倉底から離れた後のはしけ上での安全の確保

①　荷役担当者が荷役計画を作成する際、作業員の退避場所を考慮した作業手順を作成する。具体的には、近くのはしけへの退避、えい船への退避などの手順を作成する。

②　荷役担当者は、重量物荷役がある場合、ミーティング時に荷役作業員に周知する。

③　荷役担当者は、荷役中、巡視点検を行い、退避行動を行いながら作業を実施しているかを確認する。

(2)　はしけ上での作業に際し、救命胴衣の着用

はしけへ移動する際は、救命胴衣を着用するとともに、はしけ上での作業中も、可能な限り救命胴衣を着用する。

(3)　揚貨装置の作動状況等の点検記録の確認

①　入港時にクレーンの検査証を入手して内容を確認後、作業を開始する。

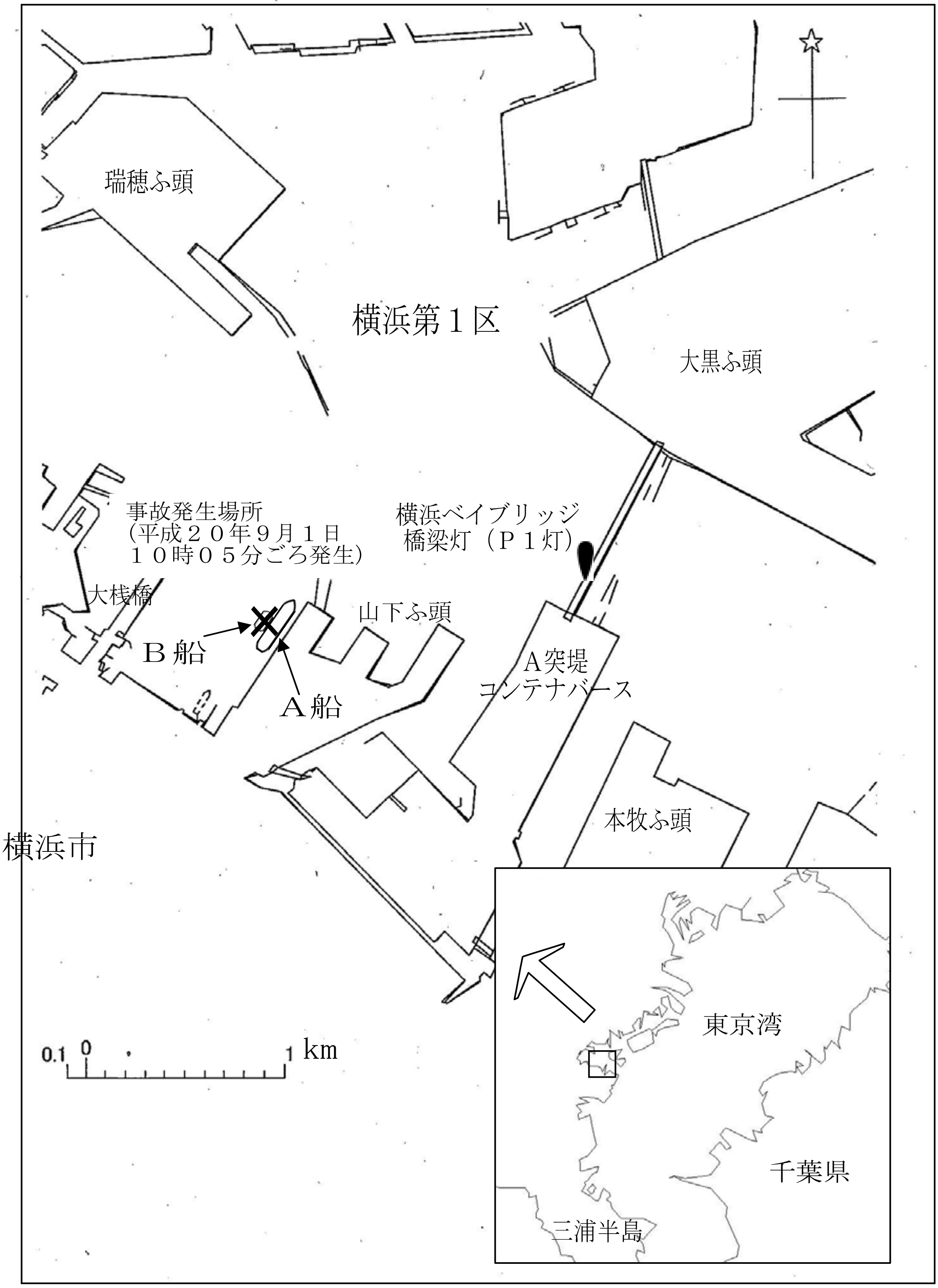
②　クレーン検査証など、入手した書類の写しを保管する。

６．４　ＧＬの対応

ＧＬは、初期の調査結果に基づき、ＧＬ登録船の船舶所有者及び船舶管理会社に対し、シーブの製造は認められた工業標準に従って行われているものであり、一般的には、船級協会の承認に係るものではないとしながらも、デッキクレーンにおいて直径２８㎜ 以上のワイヤロープを支える溶接構造のシーブについては、目視に加え、より信頼性のある超音波探傷等による点検を奨励する内容のサーキュラーを発出した。

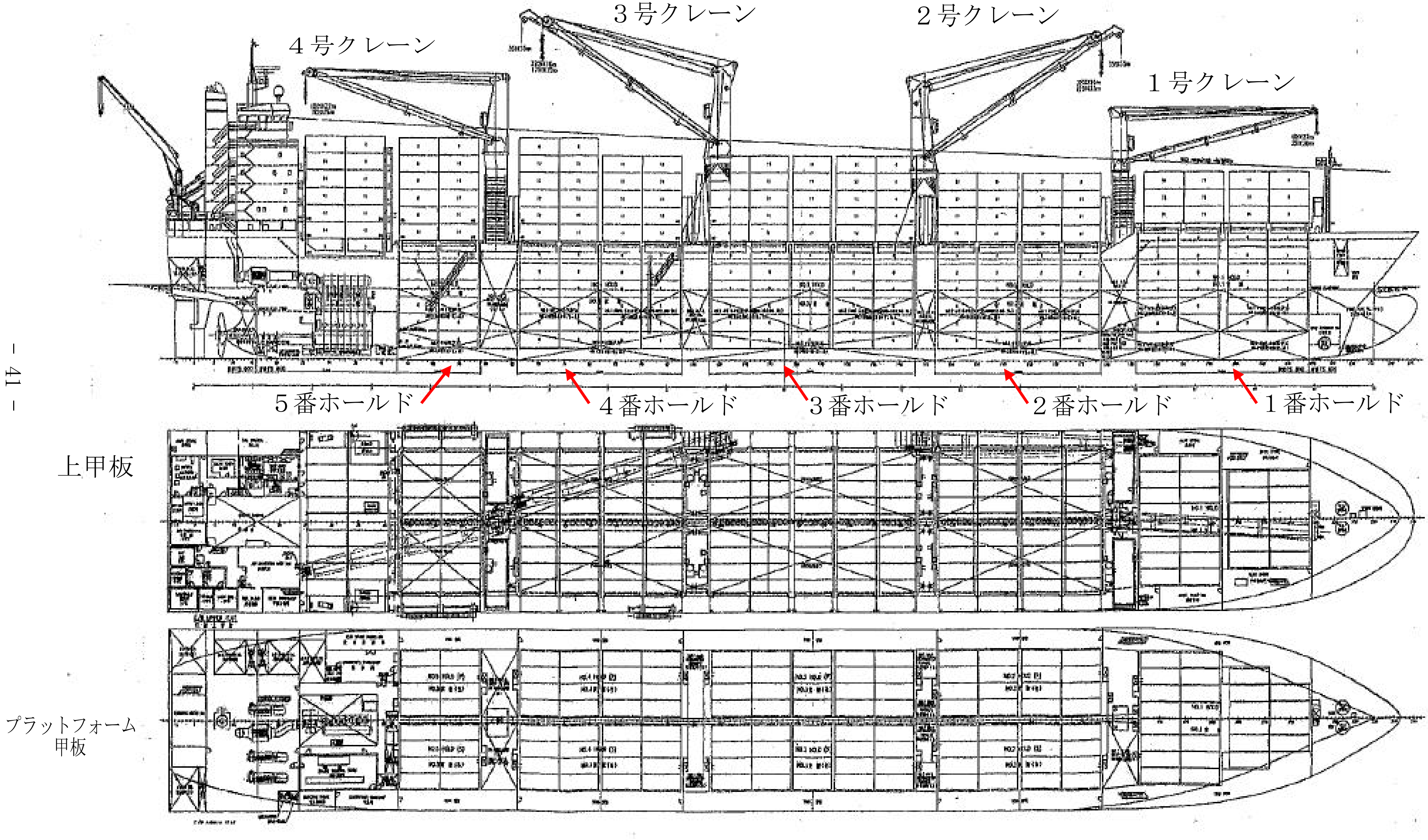
また、本件クレーン製造会社については、改良型主シーブの材質、製造工程の認証と製品検査を実施するとともに、本件クレーンの主シーブ製造会社については、新たに改良型シーブに関する検査を実施し、同シーブの製造会社としての認証を与えた。

付図１　事故発生場所図



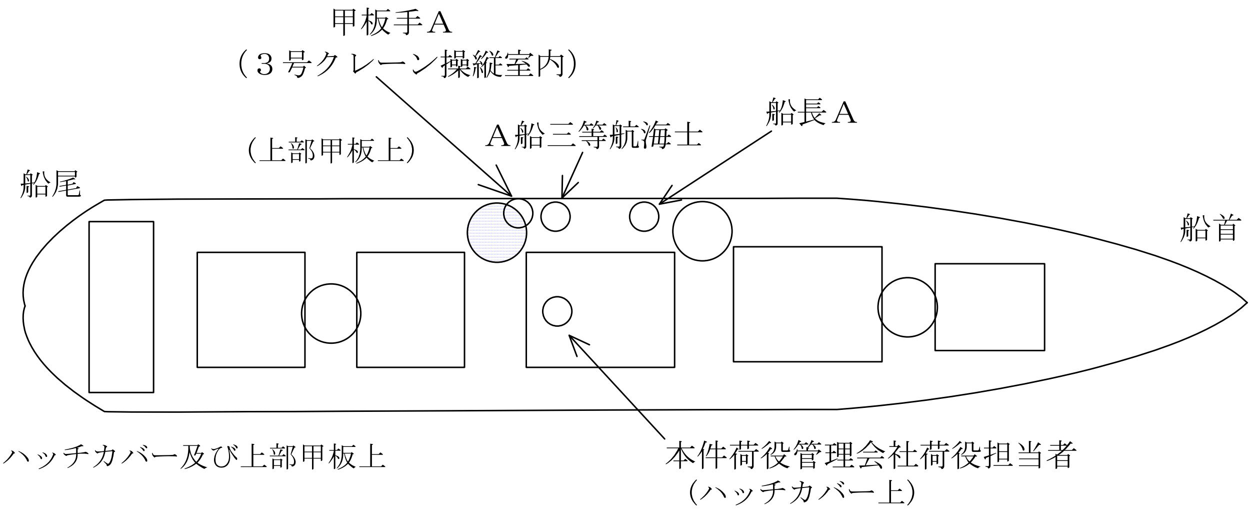
瑞穂ふ頭
横浜第１区
大黒ふ頭
事故発生場所
(平成２０年９月１日
１０時０５分ごろ発生)
横浜ベイブリッジ
橋梁灯（Ｐ１灯）
大桟橋
山下ふ頭
Ｂ船
Ａ船
A突堤
コンテナバース
本牧ふ頭
横浜市
0.1 0 1 km
東京湾
千葉県
三浦半島

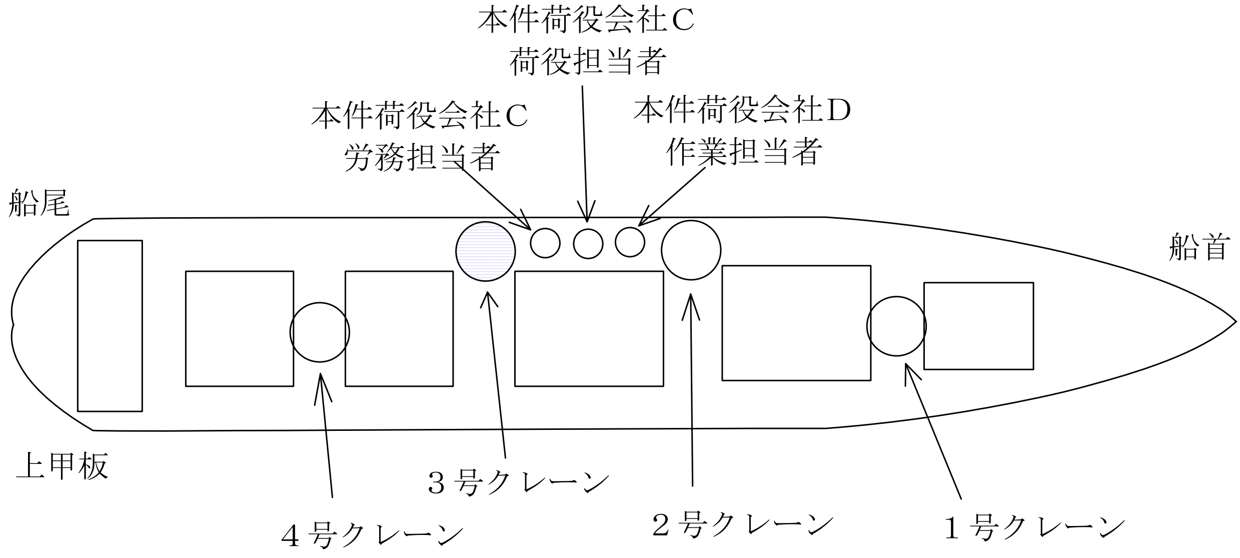
付図２　Ａ船一般配置図



４号クレーン
３号クレーン
２号クレーン
１号クレーン
５番ホールド
４番ホールド
３番ホールド
２番ホールド
１番ホールド
上甲板
プラットフォーム
甲板

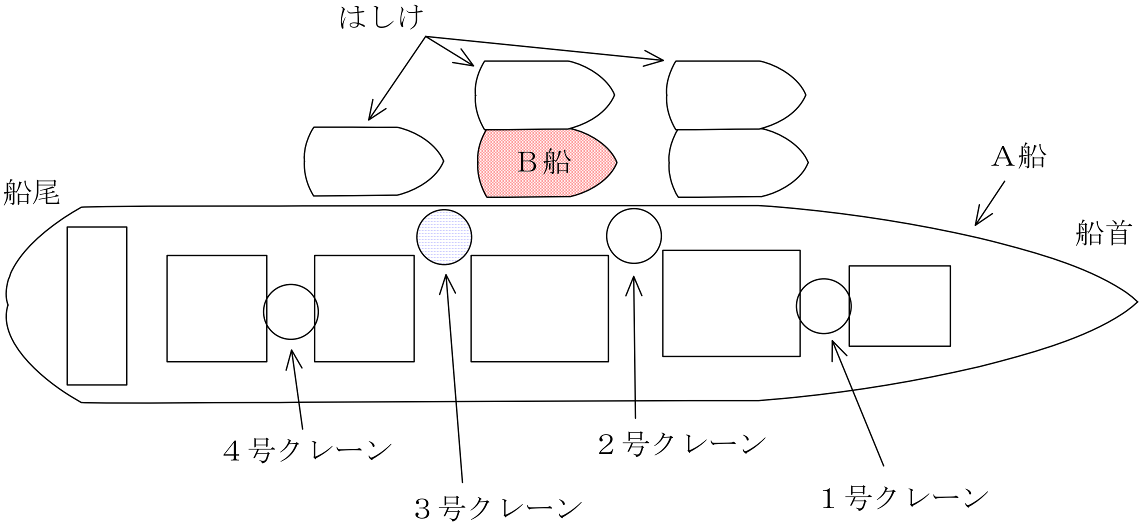
付図３　Ａ船乗組員及びＡ船上作業員配置図



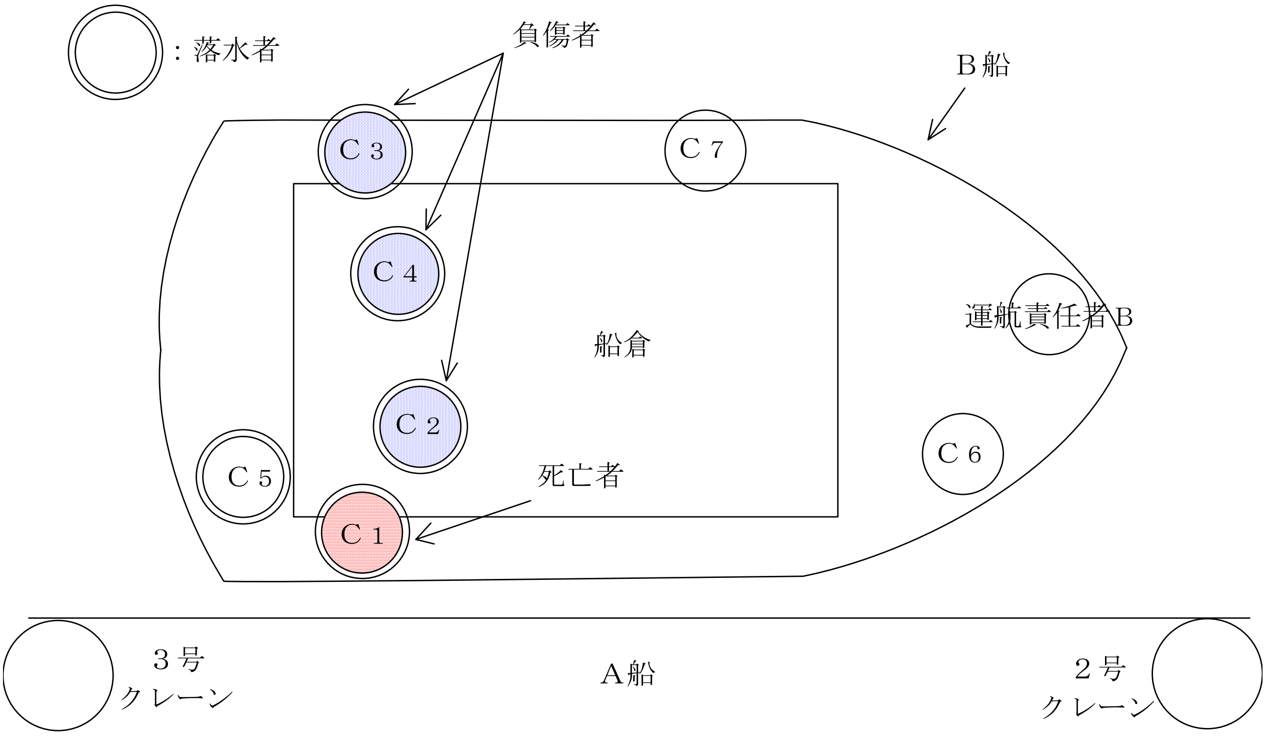


付図４　Ｂ船状況図

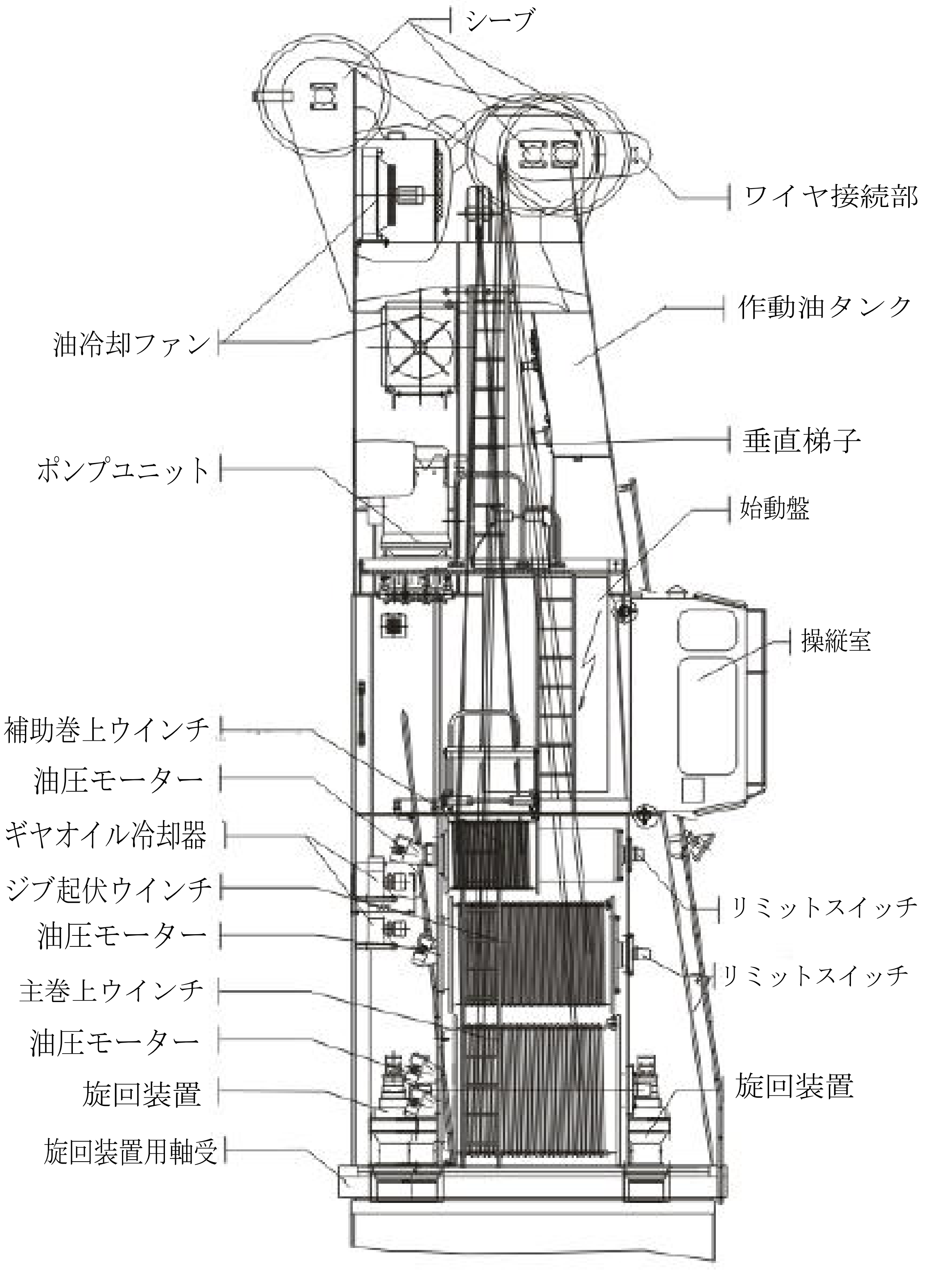
ａ　Ｂ船の接舷状況図



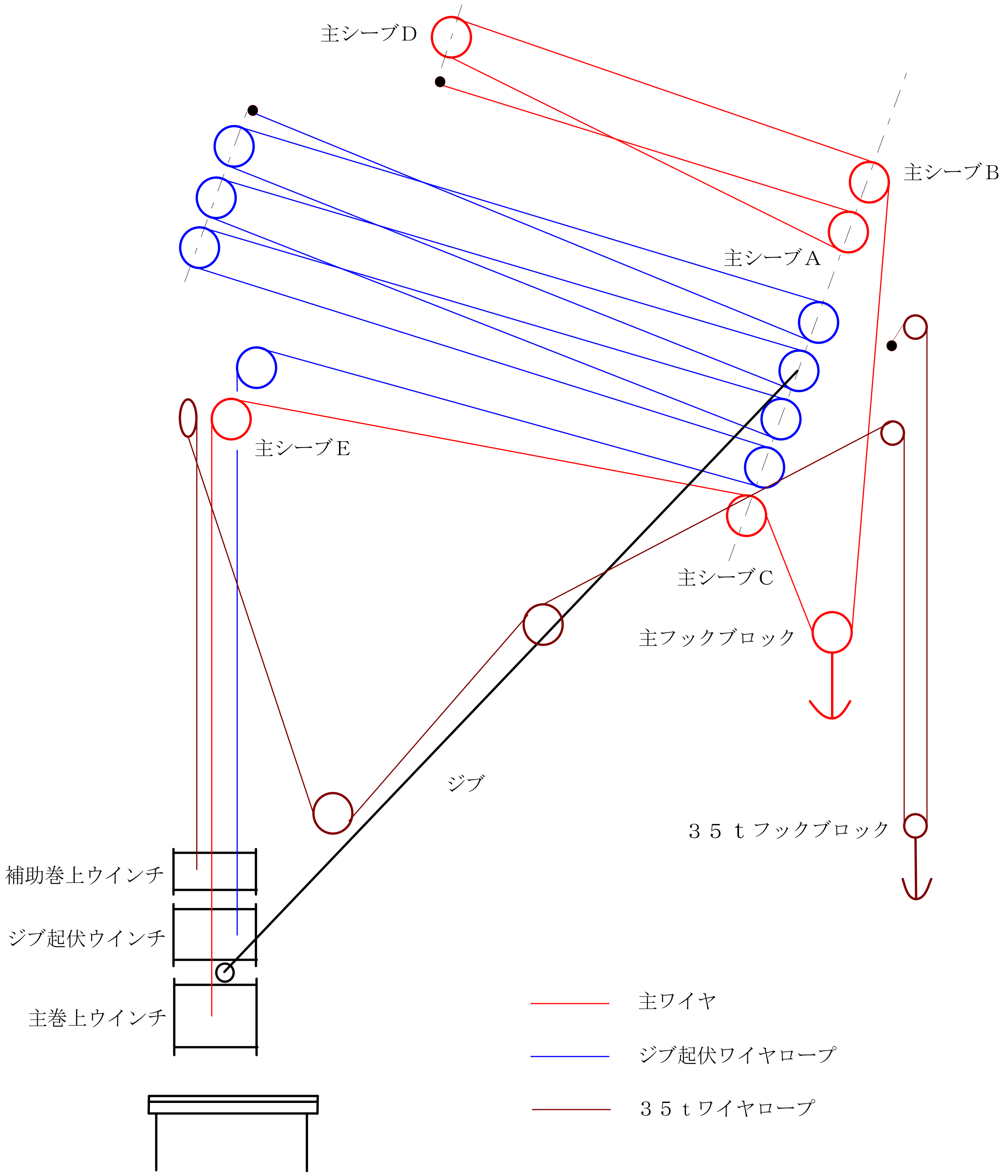
ｂ　Ｂ船上の荷役作業員及び運航責任者Ｂ立ち位置図



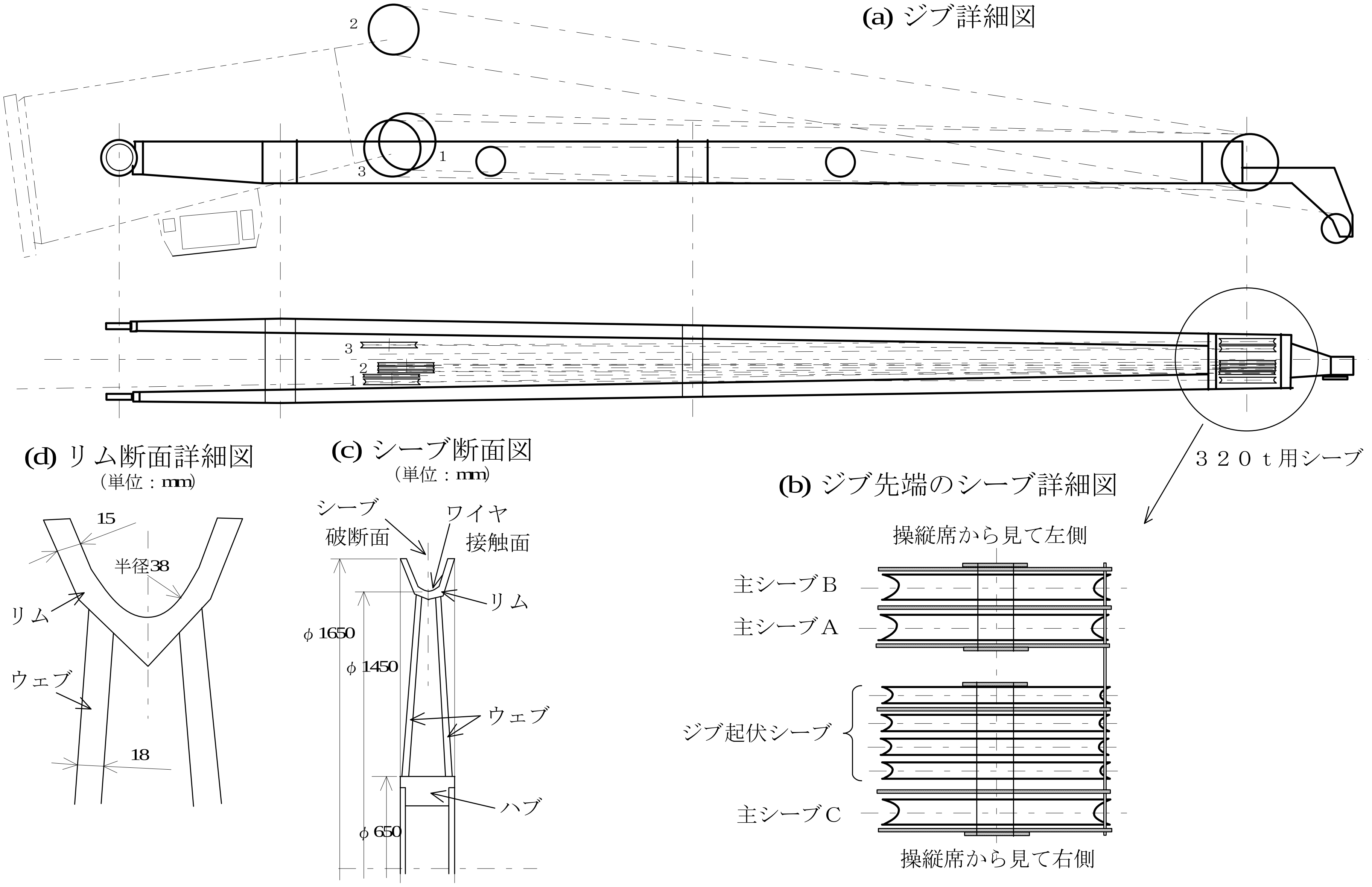
付図５　３号クレーン機械室図



付図６　ワイヤ装備図


主シーブＤ
主シーブＢ
主シーブＡ
主シーブＥ
主シーブＣ
主フックブロック
ジブ
３５ｔフックブロック
補助巻上ウインチ
ジブ起伏ウインチ
主巻上ウインチ
主ワイヤ
ジブ起伏ワイヤロープ
３５ｔワイヤロープ

付図７　ジブ及びシーブ図



付図８　制限荷重と制限半径図

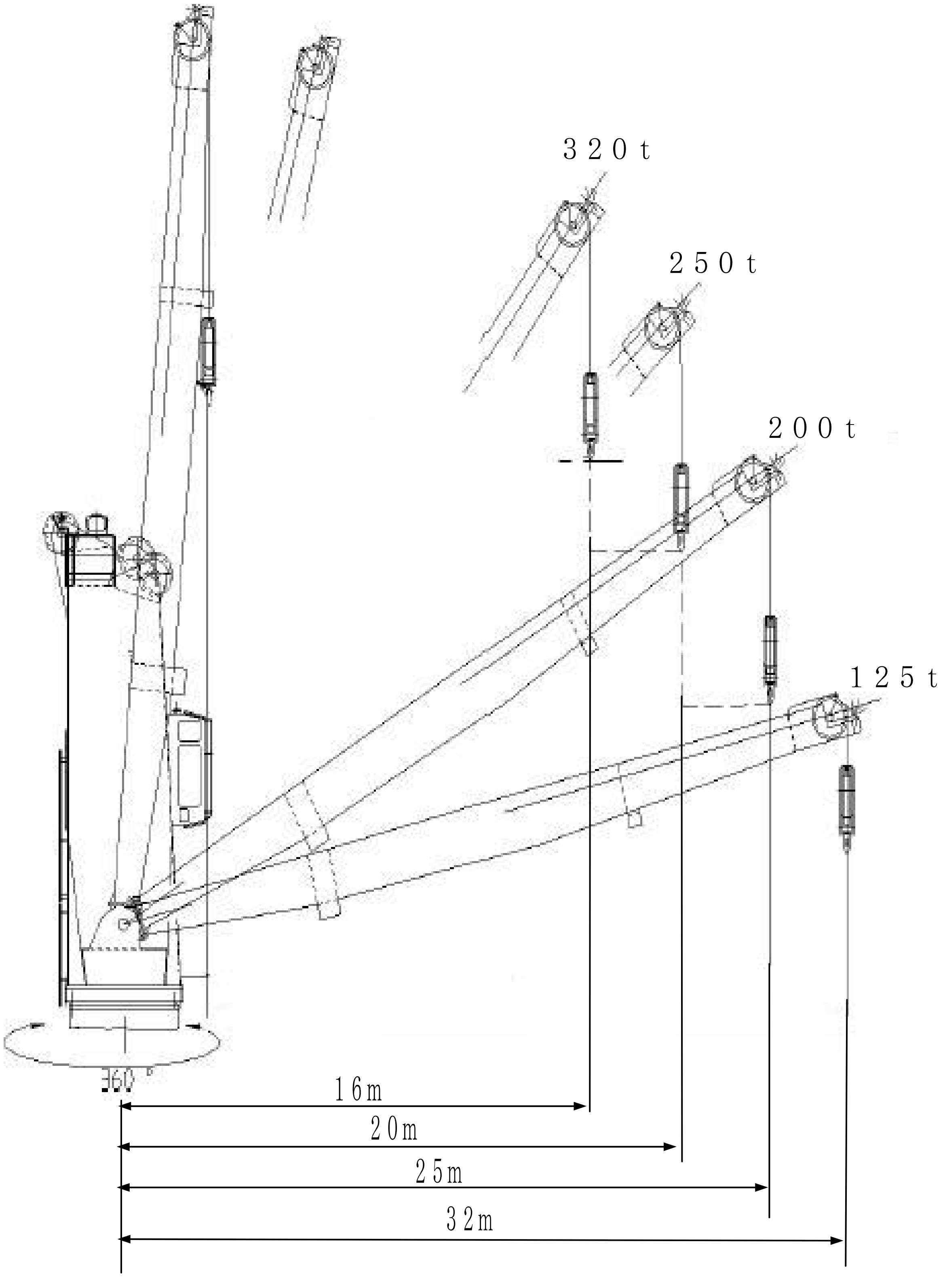
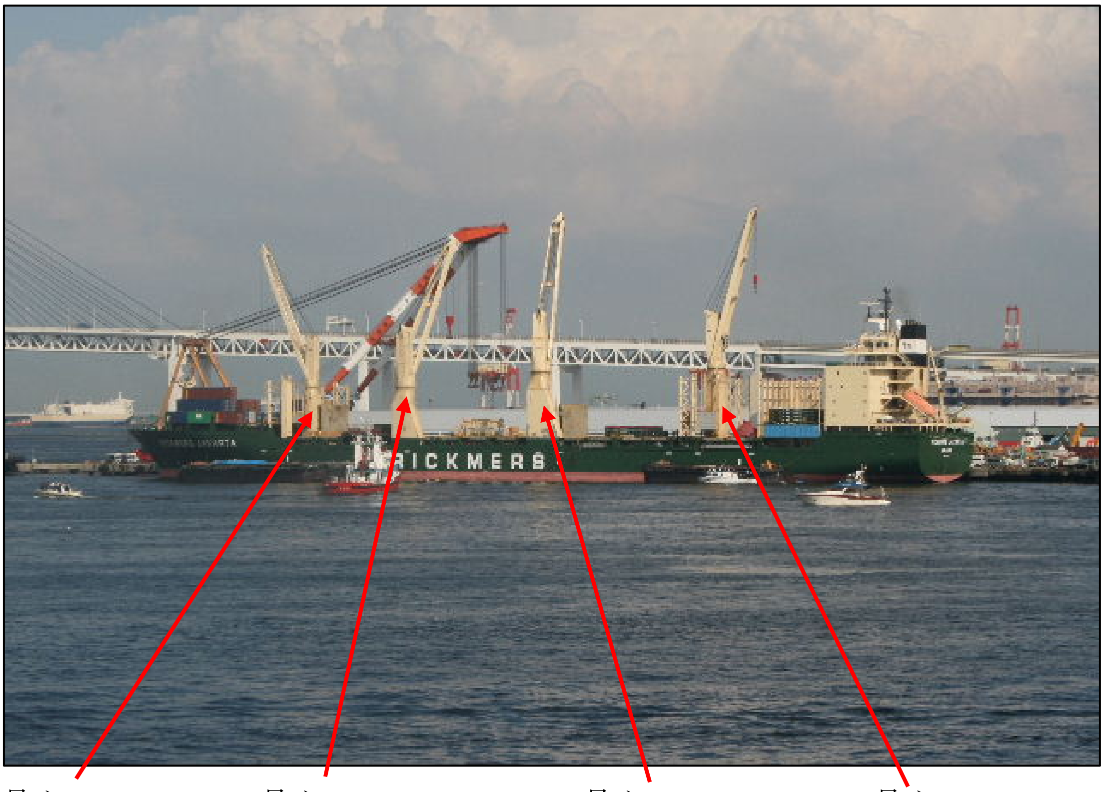


写真１　A船全景（本事故後に撮影）



１号クレーン　２号クレーン　３号クレーン　４号クレーン

B船

写真２　B船全景（本事故前に撮影）

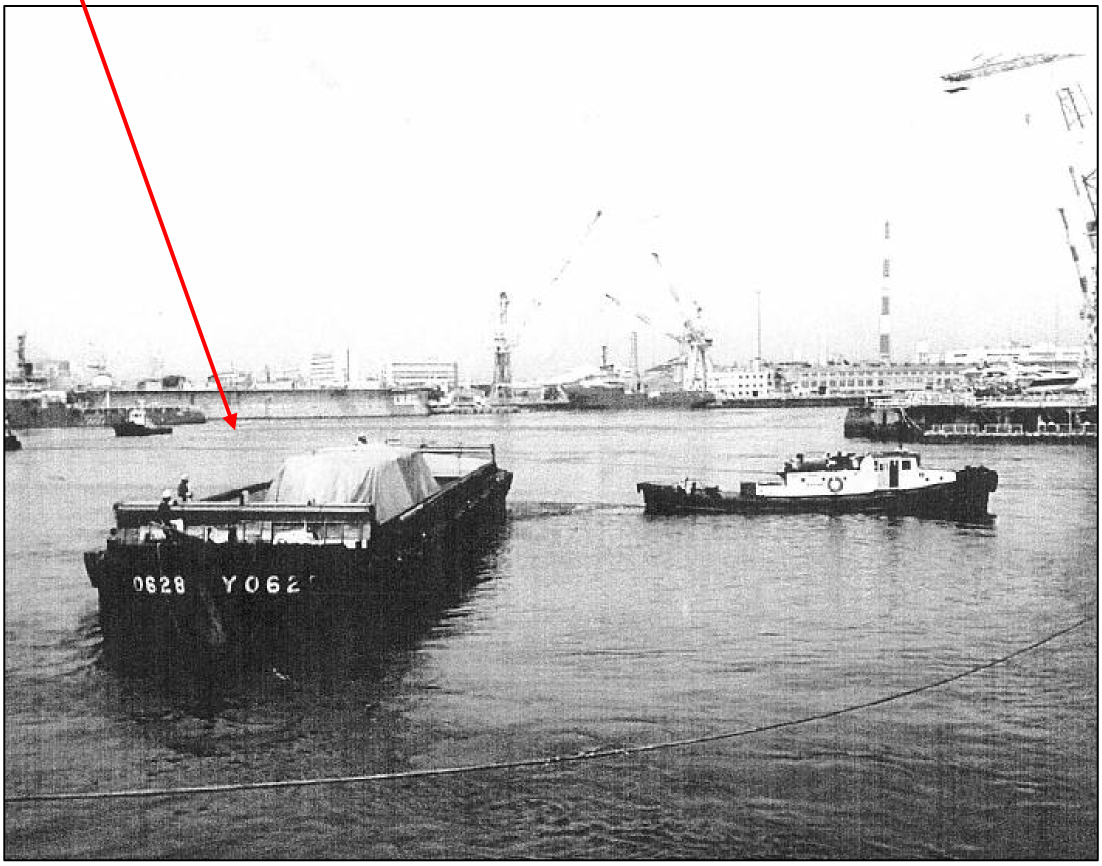


写真３　３号クレーンジブ先端のシーブ

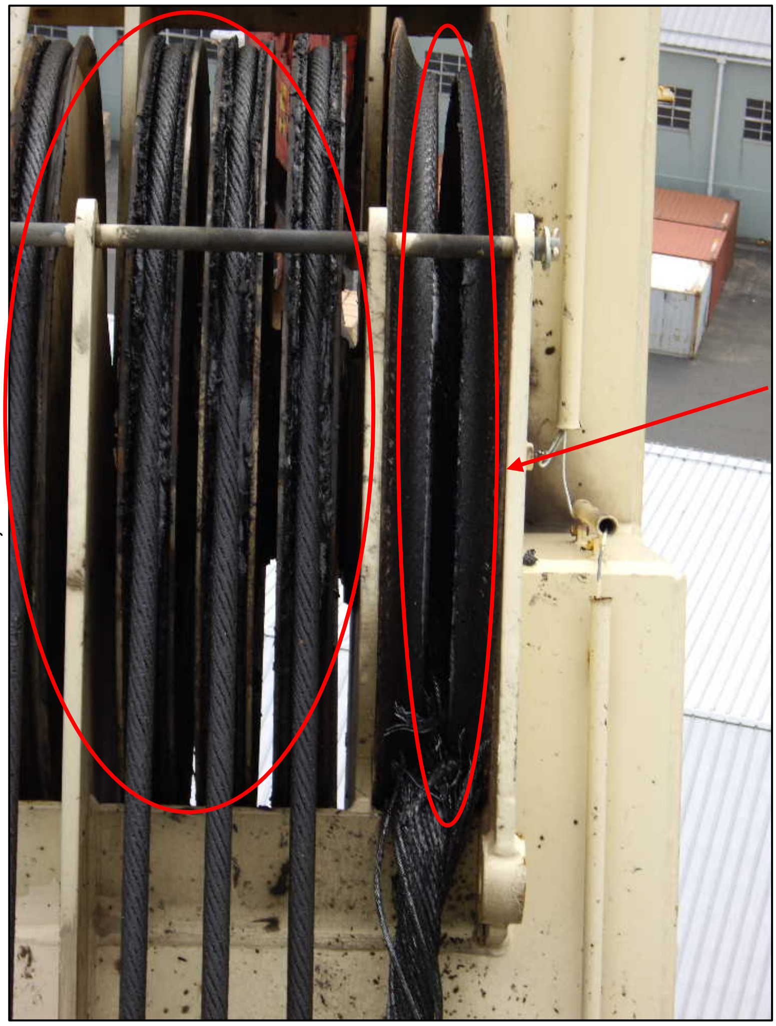


写真４　３号クレーンジブ先端

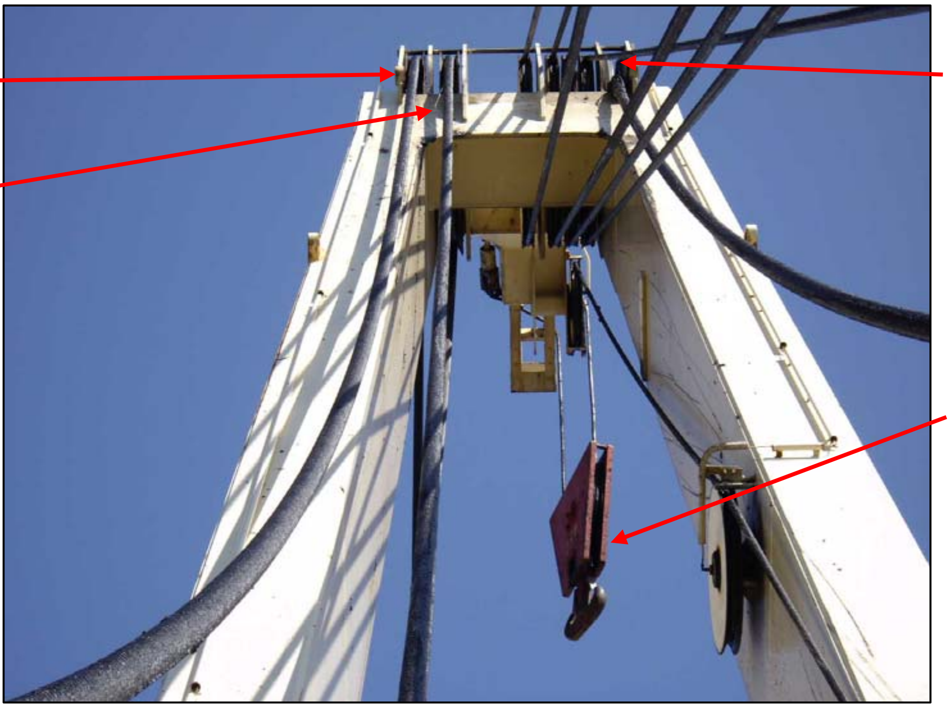


写真５　本事故後の状況

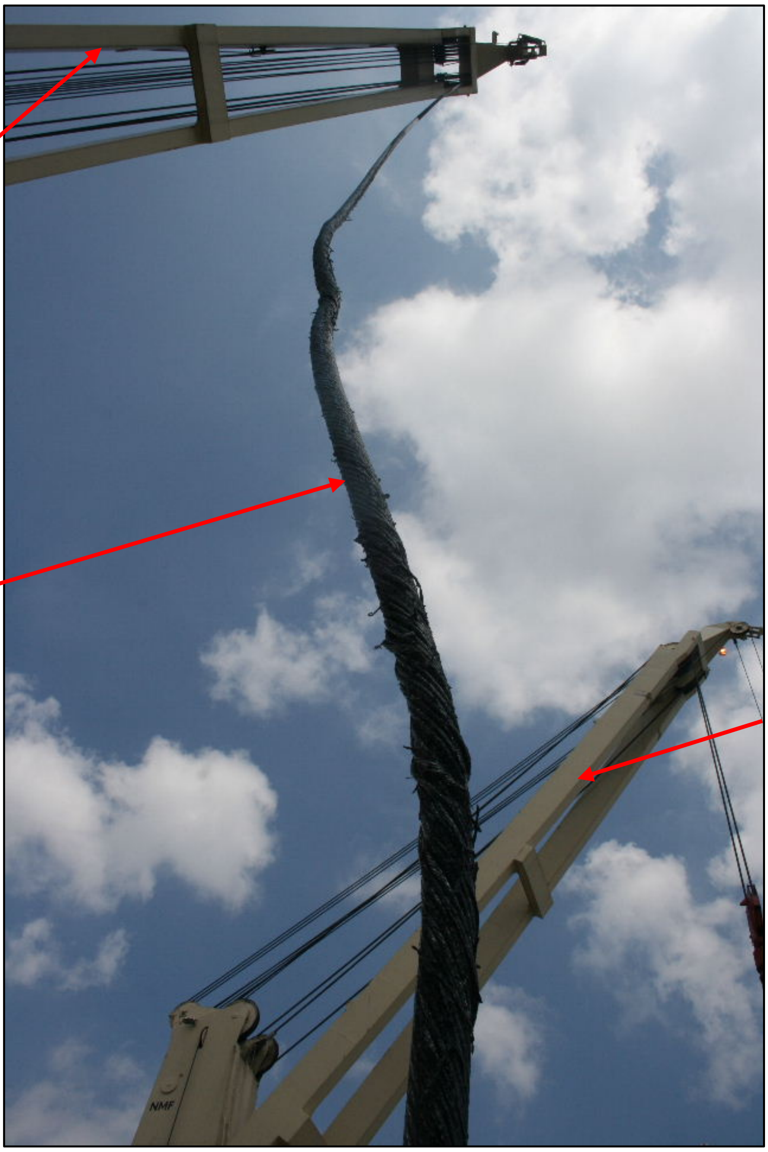


写真６　主ワイヤ破断部

写真７　 Ｂ船引揚状況

写真８　本件貨物

積込時（事故直前）

水没した本件貨物の引揚時

写真９　３号クレーン操縦室

写真１０　主シーブＣ割損及び錆状況

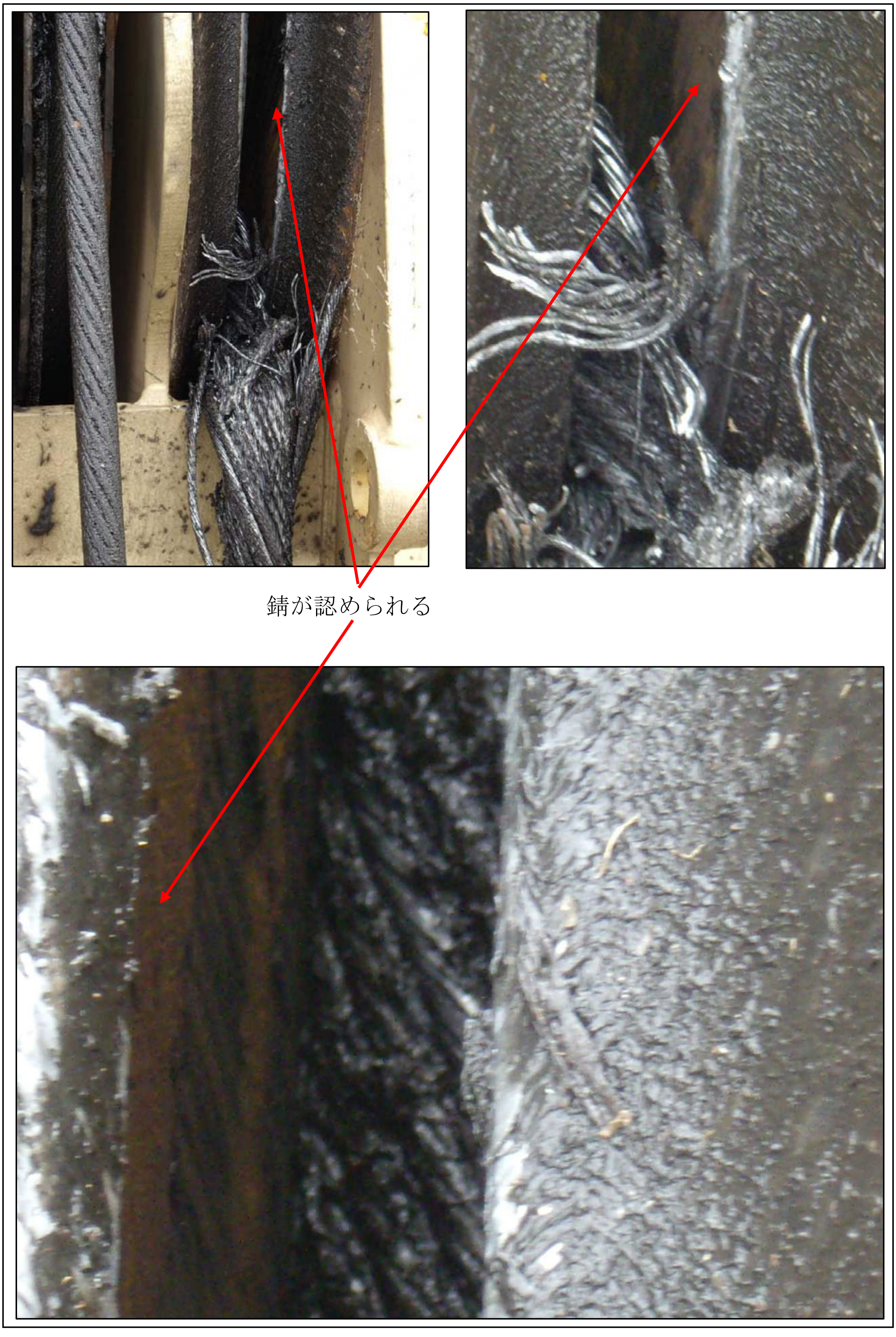
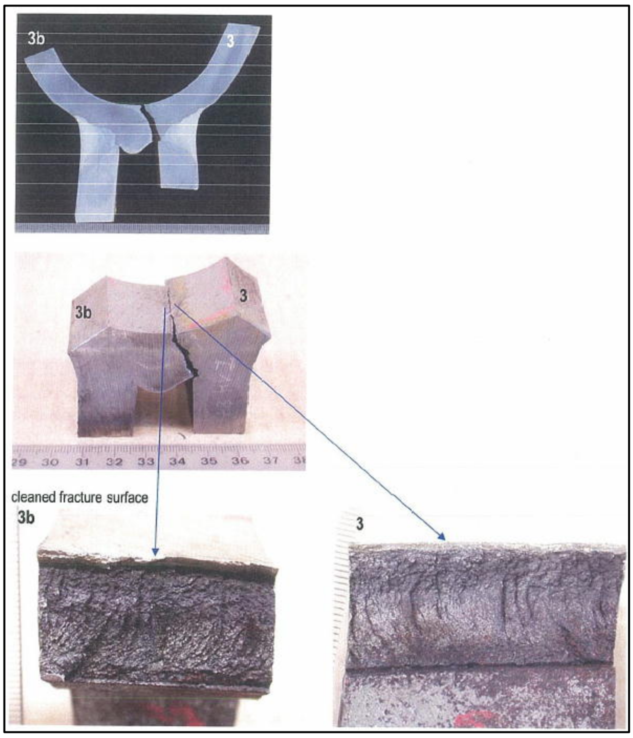
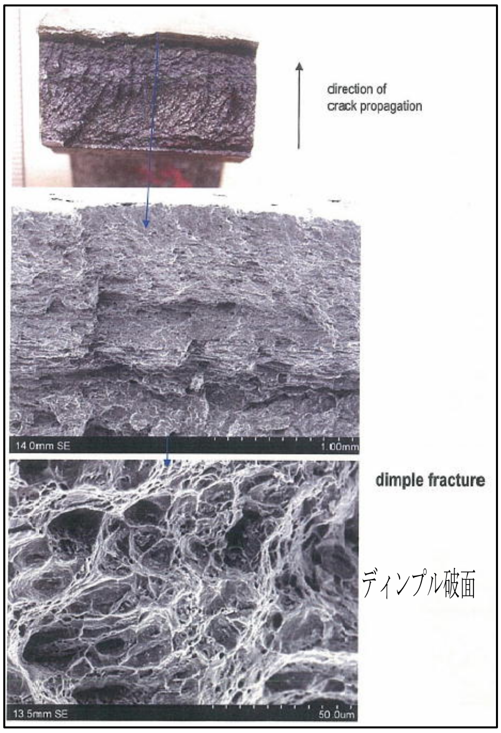


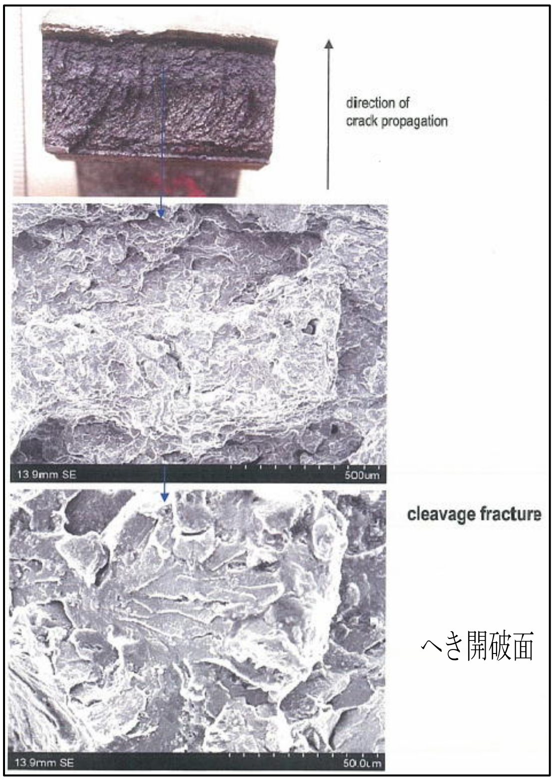
写真１１　電子顕微鏡による検査状況



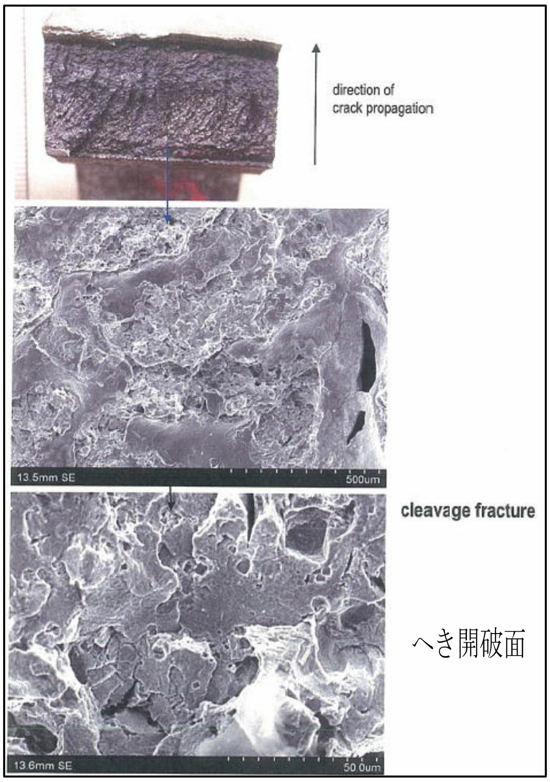
a　リム破断面の状況



b　ワイヤ接触部近傍



c　リム破断面



d　リム破断面

写真１２　リム割損状況

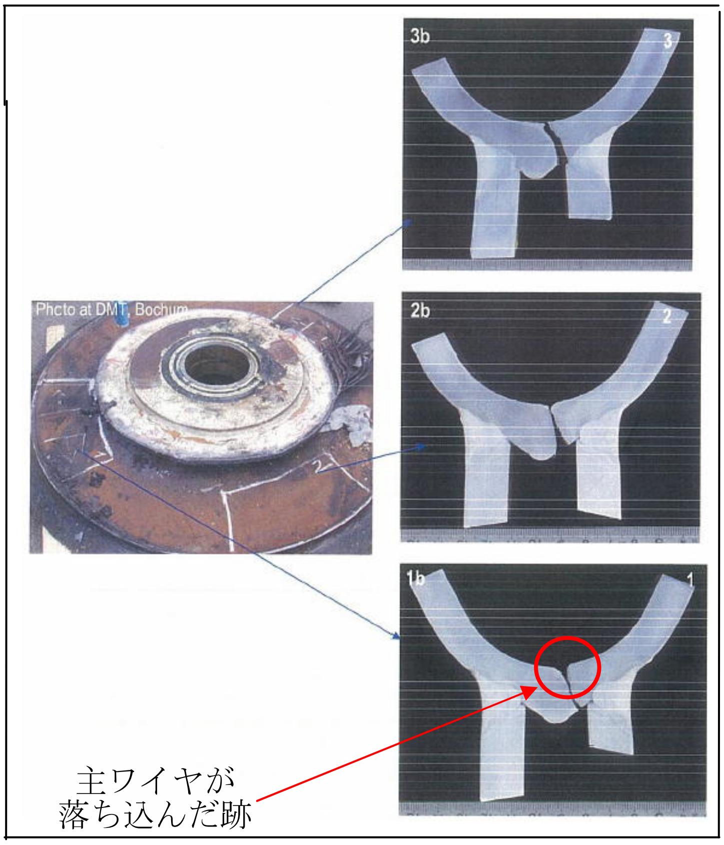


写真１３　ワイヤガイド面の裏側　亀裂発生状況（主シーブC）

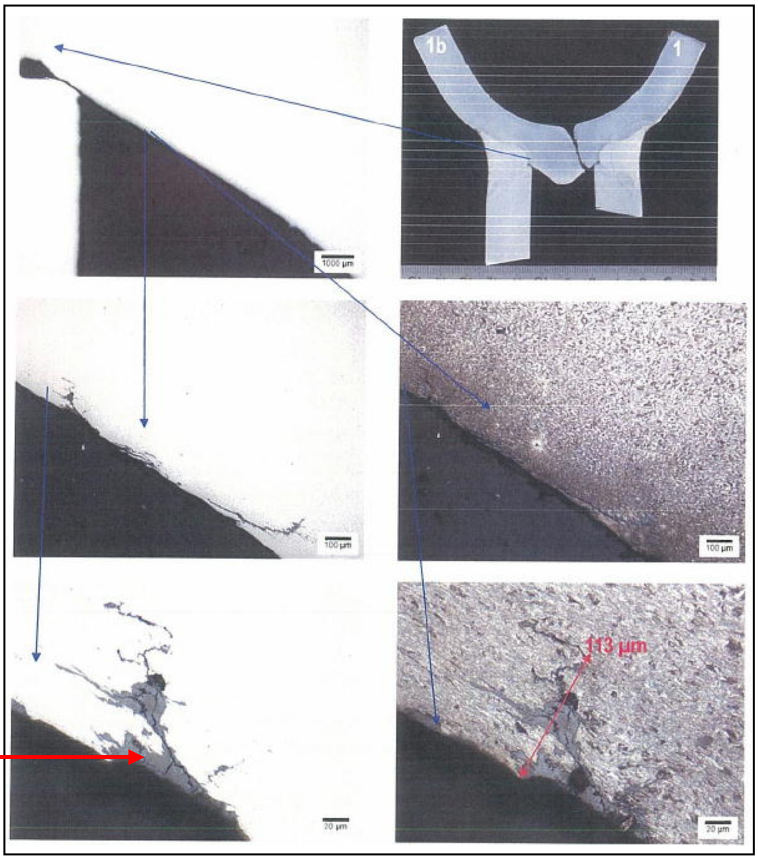


写真１４　ワイヤガイド面の裏側　亀裂発生状況
（非損傷の主シーブＥ）

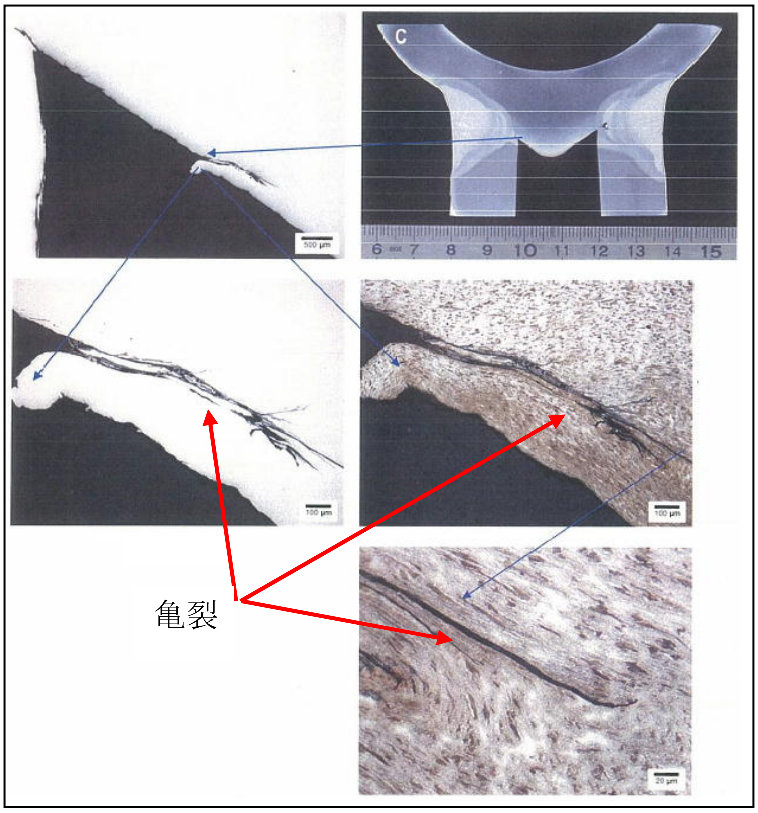


写真１５　同型船シーブ状況

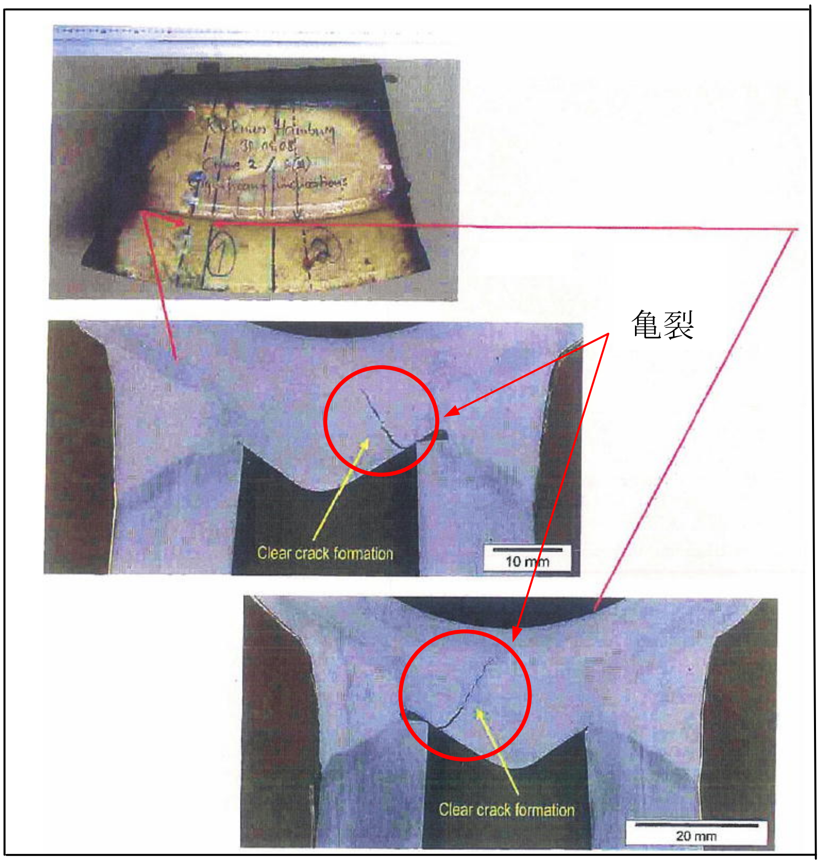
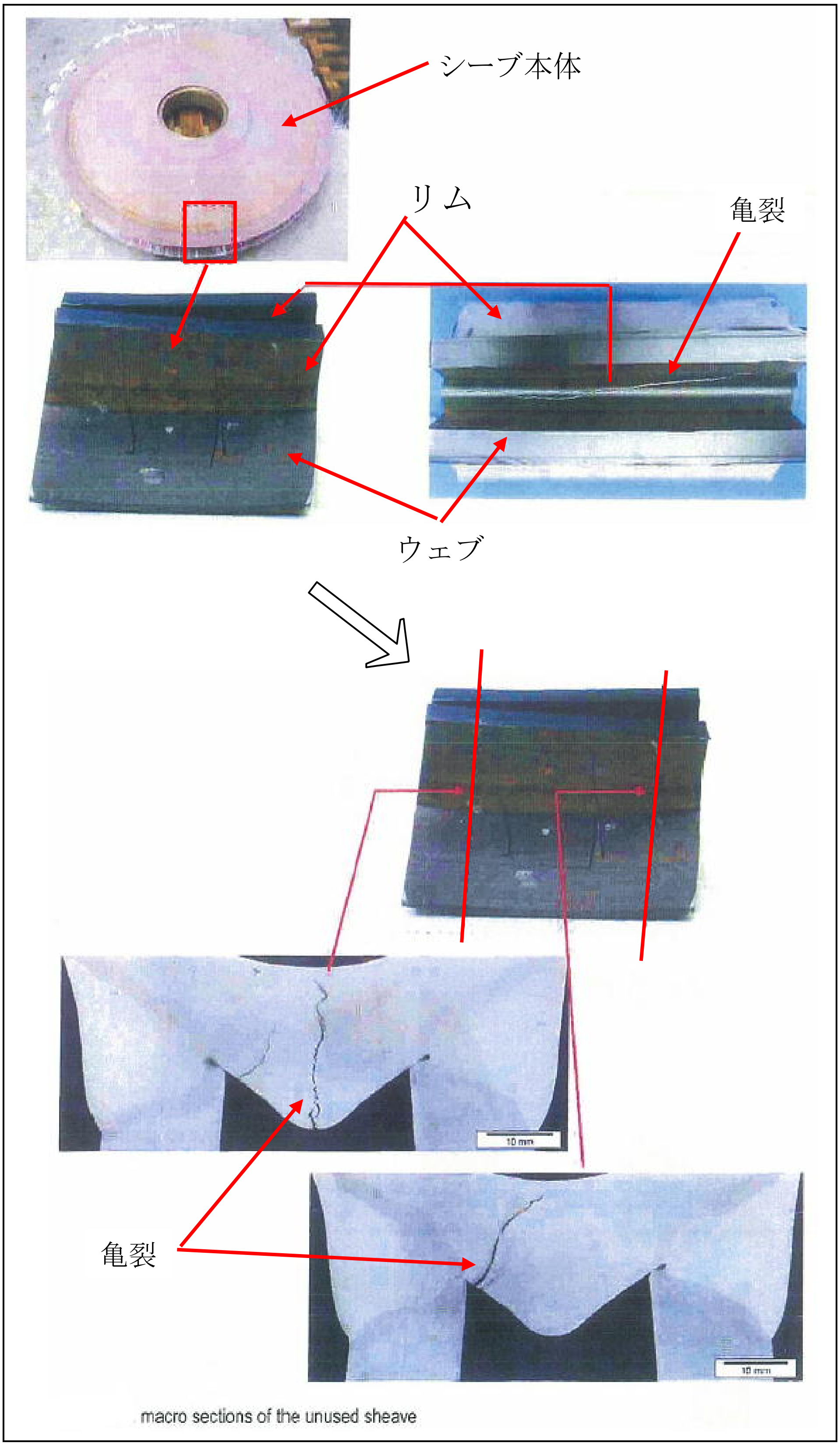



写真１６　未使用シーブの亀裂状況